

Очистка сточных вод предприятий химико- фармацевтической промышленности



**Москва
Стройиздат**

ББК 38.761.2
0-94
УДК 628.543:661.12

Рецензент — канд. техн. наук В.А.Северцев.

Очистка сточных вод предприятий химико-фармацевтической промышленности: Совм. изд. СССР—ЧССР/С.В.Яковлев, Т.А.Карюхина, С.А.Рыбаков и др.; Под ред. Т.А.Карюхиной и С.А.Рыбакова. — М.: Стройиздат, 1985. — 252 с., ил.

В совместном издании авторов из СССР и ЧССР изложены новые сведения о сточных водах, образующихся в процессе производства лекарственных препаратов, а также о методах их очистки. Даны рекомендации для проектирования и эксплуатации новых видов сооружений и оборудования. Многие из рекомендуемых решений основаны на собственных экспериментальных исследованиях авторов и внедрены в реальные проекты очистных сооружений химико-фармацевтических производств.

Для инженерно-технических работников проектных, эксплуатационных и научно-исследовательских организаций.

О 2803050000 — 694
047 (01) — 85 144-84

ББК 38.761.2
6С9.3

© Стройиздат, 1985
© SNTL, 1985

Предисловие

Интенсивное развитие химико-фармацевтической промышленности и, как следствие этого, образование значительных количеств сточных вод, загрязненных различными химическими веществами, а также повышение требований к качеству очищенных сточных вод обуславливают широкое применение разнообразных методов их очистки.

Авторы книги попытались обобщить результаты опубликованных работ по технологии очистки сточных вод и эксплуатации действующих очистных сооружений химико-фармацевтических производств, а также разработанные проектные решения. В книге приведены теоретические основы биологической очистки с учетом специфических особенностей загрязнений сточных вод.

Авторы не ставили перед собой цели рассмотреть технологию очистки сточных вод производства всех химико-фармацевтических препаратов. Такую задачу невозможно решить в ограниченном объеме книги, поскольку номенклатура препаратов состоит из сотен наименований. Рассмотрен только ряд химико-фармацевтических производств, характерных с точки зрения образования сточных вод и применения различных методов их очистки.

Вопросы, касающиеся обработки осадков и контроля процессов очистки сточных вод, рассмотрены только исходя из специфики их решения для химико-фармацевтической промышленности, так как они достаточно отражены в специальной литературе.

Авторский коллектив исходил из того, что общие вопросы очистки сточных вод известны читателям. Вопросы очистки сточных вод химико-фармацевтической промышленности мало освещены в литературе. Книги, специально посвященные данному вопросу, отсутствуют. Предлагаемое издание должно восполнить этот пробел.

Книга издается в СССР и ЧССР и написана совместно советскими и чешскими специалистами. В ней использован имеющийся в СССР и ЧССР богатый опыт развития химико-фармацевтической промышленности и личный опыт советских и чешских авторов по очистке сточных вод, образующихся в фармацевтических производствах.

Главы 1, 2 и 5—11 написаны совместно С.В.Яковлевым, Т.А.Карюхиной и С.А.Рыбаковым (СССР), гл. 3 — Д.Решеткой, гл. 4 — Я.Худобой (ЧССР). При написании гл. 9 использованы материалы инж. А.Э.Чурбанова (СССР).

Авторы выражают глубокую благодарность за ценные замечания, сделанные д-ром хим.-фарм. наук А.Г.Натрадзе при рецензировании программы книги и канд. техн. наук Е.Р.Валашеку — при просмотре рукописи, а также инж. Рогожину В.А., оказавшему большую помощь при написании гл. 1.

После того, как рукопись книги была сдана в редакцию, наш авторский коллектив потерял одного из советских авторов — безвременно ушла из жизни Тамара Александровна Карюхина.

Тамара Александровна — инициатор написания этой книги и организатор советско-чехословацкого коллектива авторов. По ее предложению авторы из ЧССР написали главы 3 и 4, которые представляют значительный интерес для специалистов по очистке сточных вод предприятий сложного биоорганического и химического синтеза. Некоторые ее собственные разработки в области биологической очистки производственных сточных вод, известные в Советском Союзе и за рубежом, нашли отражение в этой книге.

При проектировании практически всех значительных очистных сооружений химико-фармацевтических предприятий были реализованы рекомендации Т.А.Карюхиной, которая принимала активное участие в создании рациональных систем водопотребления, водоотведения и очистки сточных вод на предприятиях отрасли.

Введение

В современных условиях научно-технической революции проблемы охраны окружающей среды, наряду с технологическими и экономическими аспектами, стали одним из решающих факторов, определяющих дальнейшее развитие производства. Мероприятия по охране природы в настоящее время являются неотъемлемой частью государственных планов экономического и социального развития.

Химико-фармацевтическая промышленность (ХФП) характеризуется рядом специфических особенностей, наиболее существенными из которых являются многообразие ассортимента выпускаемой продукции, большие расходы разнообразного сырья, а также многостадийность производства. Это обуславливает образование значительного количества сточных вод, твердых и пастообразных отходов, содержащих разнообразных органические и неорганические соединения и могущих в ряде случаев приводить к существенному загрязнению водоемов и почвы.

Производство химико-фармацевтических препаратов, в том числе витаминов и антибиотиков, требует значительного расхода воды, вследствие чего предприятия ХФП традиционно располагаются в бассейнах многоводных рек. Вместе с тем сложность производства обуславливает привлечение высококвалифицированного персонала, поэтому предприятия обычно располагаются в крупных населенных пунктах. Сочетание этих факторов, а также то, что источники водоснабжения предприятий одновременно являются источниками водоснабжения населенных пунктов, особенно обостряет проблемы очистки сточных вод и охраны водоемов от загрязнений.

Следует также отметить, что большая часть производств отрасли в СССР организовалась в сложный послевоенный период, и вопросы охраны окружающей среды не всегда получали должное разрешение. В связи с этим обеспечение нормальных условий функционирования действующих предприятий, а также разработка и внедрение природоохранных мероприятий в настоящее время являются одной из насущных задач, требующих своего решения проведения комплекса исследовательских и инженерных работ. Сказанное имеет особое значение именно для отрасли, производящей лекарственные препараты, которая по своему назначению призвана обеспечивать здоровье человека и уже в силу этого не должна являться источником загрязнения окружающей природной среды.

Значение химико-фармацевтической промышленности в нашей стране, а также в странах социалистического сотрудничества делают производство лекарственных средств одной из важных составных частей материальной базы социалистического общества.

Создание лекарственных препаратов — это древнейшая отрасль, которая в процессе своего развития прошла длинный и сложный путь постоянного совершенствования, продолжающегося в полной мере и в наше время. Важным этапом в развитии фармацевтической химии было открытие специфического воздействия некоторых природных химических веществ на болезнетворные микроорганизмы и синтезирование аналогично действующих соединений в искусственных условиях. Это послужило основой создания технологических химических производств, которые обеспечили промышленный выпуск лекарственных средств.

По мере роста производительных сил государства происходит интенсивное развитие предприятий химико-фармацевтической промышленности. Только за годы десятой пятилетки объем выпуска товарной продукции отрасли медицинской промышленности в СССР увеличился на 57,6%. В 1980 г. выпущено продукции медицинского назначения примерно в 4 раза больше, чем в 1967 г. В настоящее время ассортимент выпускаемых промышленных лекарственных препаратов составляет около 2000 наименований. За пятилетие (1976—1980) основные промышленно-производственные фонды отрасли возросли на 41,2%. Внедрено более 1000 новых технологических процессов, что позволило значительно сократить расход материально-технических ресурсов производства, в том числе сырья и энергоресурсов.

За годы одиннадцатой пятилетки значительно увеличился объем выпуска продукции, создано и освоено производство новых высокоэффективных лекарственных препаратов.

Производство лекарственных препаратов является энергоемким, требует значительных расходов воды и сопровождается образованием загрязненных сточных вод, поэтому увеличение мощности производства может вызвать соответствующее повышение водопотребления, а также увеличение количества загрязненных сточных вод, что в целом потребует проведения значительных организационно-технических мероприятий, направленных на предотвращение загрязнения окружающей среды.

Задачей настоящей книги является ознакомление широкого круга специалистов в области охраны окружающей среды и производства лекарственных препаратов с современными методами очистки и обработки сточных вод и их осадков, которые используются или могут быть внедрены на предприятиях отрасли.

1. СТОЧНЫЕ ВОДЫ

1.1. ОБРАЗОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРОИЗВОДСТВА ХИМИКО-ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ, ВИТАМИНОВ И АНТИБИОТИКОВ

Производство химико-фармацевтических препаратов основано на сложном органическом синтезе и использовании микробиологических процессов. Оно подразделяется на синтетическое, биосинтетическое и получение лекарственных средств из растительного и животного сырья. В зависимости от способа производства и области применения препараты разделяются на следующие группы: антибиотики, витамины, синтетические лекарственные средства, фитохимические и органопрепараты.

Сточные воды образуются на всех стадиях производства: при подготовке сырья, в процессах фильтрации, экстракции, при химической очистке газовых выбросов. Поскольку производство химико-фармацевтических препаратов представляет собой многостадийный процесс, в общий сток поступают минеральные соли, свободные кислоты и щелочи, а также многочисленная группа органических и неорганических продуктов и полупродуктов, образующихся в процессах химического и биологического синтеза и извлечения действующих начал из растительного и животного сырья. Производственные полупродукты из-за неполноты реакций также частично остаются в отходах производства.

Кроме того, многие виды сырья не участвуют в реакции непосредственно, а только создают необходимую реакционную среду (например, растворители, некоторые кислоты и щелочи). Поэтому нормируемое количество сырья и полупродуктов, участвующих в производстве, может во много раз превышать массу готового продукта. В химико-фармацевтическом производстве существуют понятия "расходный коэффициент" и "материальный индекс". Первое из них обозначает расход данного вида сырья для получения единицы массы или активности готового продукта; второе — отношение массы всех видов сырья для получения единицы массы или активности готового продукта.

Расходные коэффициенты по отдельным видам сырья могут в десятки раз превышать массу готового продукта, а материальный индекс для некоторых лекарственных препаратов достигает 100 и более. Это значит, что на 1 кг или на показатель, выраженный в единицах активности продукта (например, 1 млрд. М.Е.), может расходоваться 100 кг и более различного химического сырья.

В качестве примера в табл. 1.1. приведены расходы веществ (расходные коэффициенты) на синтез 1 кг витамина А-ацетата из псевдоиона¹.

Общий сток производства какого-либо препарата формируется из отдельных стоков, образующихся на различных стадиях данного производства. Поскольку современная технология получения лекарственных препаратов основана на периодичности процессов и только немногие производства работают в непрерывном режиме, сброс сточных вод, содержащих отходы по данной стадии, также имеет в основном периодический характер. Цикл производства может включать несколько химических процессов, проходящих в различных технологических аппаратах, причем в каждом из этих процессов участвуют различные виды химического сырья. В сточные воды

¹Шнайдман Л.О. Производство витаминов. — М., Пищевая промышленность, 1973, с. 37.

Таблица 1.1

Вещество	Расход, кг	Вещество	Расход, кг
Ацетилен	3,21	Натрий хлористый	2,62
Аммиак жидкий с учетом регенерации	4,00	Натрий серноокислый	2,80
Аммоний хлористый	2,86	Натрий углекислый	18,68
Бикарбонат натрия	1,15	Палладий хлористый	0,09
Бромистоводородная кислота	1,50	Пиридин	1,50
Бромистый этил	2,62	Псевдоионон	4,67
Дихлорэтан с учетом регенерации	4,38	Спирт этиловый с учетом регенерации	1,44
Кальций металлический	1,23	Толуол	1,5
Кислота серная (плотность 1840 кг/м ³)	34,93	Уксусный ангидрид	0,50
Кислота уксусная	7,18	Этиловый эфир хлоруксусной кислоты	2,98
Магний металлический	0,60	Эфир петролейный с учетом регенерации	10,27
Метилат натрия	1,43	Эфир этиловый абсолютный с учетом регенерации	9,52
Метиловый спирт	3,57		
Метилвинилкетон	2,15		
Натр едкий	1,67	Циклогексан	0,85
		Итого	≈ 130 кг

поступают десятки видов различных исходных и получаемых в процессе производства химических соединений.

В качестве примера в табл. 1.2 показано формирование общего стока от производства витамина В₆, которое в настоящее время принадлежит к группе наиболее отходоёмких химико-фармацевтических производств. Показатели по количеству и составу сбросов, приведенные в табл. 1.2, даны из расчета на 1 т витамина.

1.2. РАСХОДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКА СТОЧНЫХ ВОД НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Сточные воды химико-фармацевтического предприятия могут быть разделены на две группы:

стоки, образованные в технологическом процессе производства препаратов (промывка сырья, оборудования, фильтрующих сред, смол и т.п.);

стоки, образующиеся от различных энергетических объектов, устройств по охране окружающей среды, складских комплексов, лабораторий, а также стоки бытовой канализации и прочих источников.

Специфика производства лекарственных препаратов не позволяет строго регламентировать количество и состав образующихся сточных вод на единицу готового продукта. Это объясняется изменением процесса производства и номенклатуры сырья и полупродуктов, используемых в производстве, а также исключительным многообразием оформления технологических схем. В связи с этим количество потребляемой воды и соответственно образующихся сточных вод, так же как и расходные коэффициенты сырья, постоянно изменяются. Одному и тому же препарату в зависимости от конкретных условий могут соответствовать различные количества и состав сточных вод. Поэтому в производстве химико-фармацевтических препаратов чрезвычайно сложно разработать единые нормы водоотведения, которые позволили бы установить лимит сточных вод для каждого предприятия. Производство

Таблица 1.2

Таблица 1.2.

Стоки	Количество сточных вод, м ³ на 1 т готового продукта	Состав сточных вод						ХПК, мг/л	БПК _{полн} , мг/л
		Окраска	рН	Плотный остаток			сухой, мг/л		
				прокаленный, мг/л					
Водный раствор хлористого кальция	5,4	Желтая	1,7–2,6	500 000–540 000	120 000–380 000	40 000–310 000	15 000–96 000		
Смесь соляной и серной кислот	10,0	Бесцветная То же	1,9	—	—	1700	180		
Кубовый остаток из ректификационной колонны	2,5		4,1–5,1	40–460	10–200	17 000–143 000	10 000		
Водно-спиртовый погон	25,0	Желтая	4,5–5,5	1 200–17 200	600–1100	150 000	0		
Итого	42,9								
Отгоны, содержащие диалкильные соединения	5,0	Малиновая	9,4–14	15 000	8000	—	—		
Водный погон	10,0	—	—	—	—	—	—		
Кислый отгон	9,0	Зеленая	2,2	1200	125	3200	1730		
Водный слой	2,9	Коричневая	6,5–8,0	420 000	195 000	350 000	—		
Водный слой после отстаивания бензола	21,0	—	—	—	—	—	—		
Кубовый остаток от регенерации спирта	0,54	—	—	—	—	3500–8500	—		
Итого	48,44								
Кубовый остаток после регенерации толуола	0,6	Коричневая	9,0	23000	21 000	24 500–81 000	1 850–18 000		
Водный слой	12,8	„	8,1	141 000	5300	1 065 800	276 600		
Кубовый остаток после регенерации толуола (нижний слой)	14,4	„	8,1	16 500	2000	81 000	18 000		
Маточный раствор после выделения полупродуктов	85,2	Коричневая	8,7	144 000–310 000	73 000	330 000–800 000	—		
Итого	113,0								

Стоки	Количество сточных вод, м ³ на 1 т готового продукта	Состав сточных вод					БПК _{полн} , мг/л
		Окраска	рН	Плотный остаток		ХПК, мг/л	
				сухой, мг/л	прокаленный, мг/л		
Окислы азота	1150	Бес- цветная Корич- невая	5,6	550	190	130	—
Маточный раствор и про- мывная вода	185		2,8	14 400	1500	23 000—106 000	18 500
Итого	1335						
Кислая вода после деле- ния слоев	104,0	"	1,3	7100	1800	4500	1800
Щелочная вода после деле- ния слоев	26,7	"	3,5—5,7	1300—20 000	500—16 200	1200—5800	170—1800
Изопропанольная вода	8,0	Желтая	3,1—6,0	5600—7000	100—1500	10 400—16 500	10 000
Смесь сернистой и соля- ной кислот	9,0	"	1,6—1,0	—	—	—	—
Итого	147,7						
Кислый водный отгон	2520	Бес- цветная Корич- невая	1,0—3,3	1 200—1 300	35—635	1 700—16 000	9000
Маточный раствор эфира	0,7		0,8	181 000	2 200	26 500—255 000	10 000—100 000
Отгоны от регенерации	0,45	—	4,1	580	170	1 400 000	—
Итого	2521,2						
Водный отгон	11,5	Бес- цветная	5,0	—	—	900—11 000	500—5 700
Кислые отгоны	0,64	"	1,0—0,6	—	—	8 800—12 000	—
Маточный раствор	5,7	Корич- невая	1,5	23 000	700	5 800 000	—
Итого	17,84						
Усредненные данные по стоку	4226,3	Желтая	0,2—0,6	52 000—67 000	30 000—34 000	225 000—275 000	100 000—110 000

каждого синтетического препарата, витамина и антибиотика характеризуется определенным количеством и составом сточных вод на данный период. Следовательно, лимиты по сточным водам для предприятия в целом могут быть установлены только исходя из показателей, индивидуально разработанных для каждого препарата, получаемого на данном предприятии.

Показатели по количеству сточных вод первой группы, т.е. образующихся в технологическом процессе на единицу готового продукта, должны разрабатываться на основании промышленного регламента на данное производство. В отраслевом стандарте ОСТ 64-2-72 "Промышленный регламент производства химико-фармацевтического препарата" количество и характеристики образующихся по стадиям сточных вод приводятся в специальном разделе "Отходы производства".

В качестве примера в табл. 1.3 приведено количество сточных вод от технологического процесса, образующихся на 1 т готового продукта, т.е. технологические показатели водоотведения по ряду препаратов. Показатели приводятся по данным предприятий, на которых производились указанные лекарственные препараты.

Таблица 1.3

Препарат	Количество сточных вод, м ³ /т	Препарат	Количество сточных вод, м ³ /т
Теобромин	276	Стрептоцид	298
Кофеин	438	Фтивазид	1000
Сульфадиметоксин	625	Аминалон	2500
Сульфадимезин	282	Витамин С	50
Фурацилин	2420	Витамин А	960
Пиперазин-гексагидрат	140	Витамин В ₁	50
Гексабарбитал	370	Витамин В ₂	500
Синтомицин	1850	Витамин В ₆	4220
Фенобарбитал	915	Тетрациклин	6200
Пармидин	700	Бензилпенициллин	3600
Риванол	2120	Стрептомицин	7300
Амидопирин	3200	Олеандомицин	10000
Промедол	91200	Полмиксин	73000

Из табл. 1.3 следует, что количество сточных вод, образующихся в технологическом процессе производства лекарственных препаратов, составляет от 50 до 91 200 м³ на 1 т готового продукта. При изменении исходного сырья изменяется и количество образующихся сточных вод. Примером может служить производство амидопирина на двух заводах, на одном из которых расход составляет 220 м³, а на другом -- 3200 м³, так как в первом случае его получают из полупродукта фенилметилпиразолона, а во втором -- из начального сырья.

Если учесть, что номенклатура лекарственных препаратов насчитывает несколько тысяч наименований, не считая полупродуктов, станет понятной трудность разработки единых технологических норм водоотведения для данной отрасли. Однако приведенные в табл. 1.3 расходы могут быть использованы для предварительных расчетов по определению количества сточных вод, образующихся в технологическом процессе.

Объем сточных вод второй группы для предварительных расчетов можно принять равным от 10 до 40% объема стоков первой группы. Поэтому для определения суммарного удельного объема сточных вод от производства лекарственных препаратов, включающего стоки от основных технологических процессов, энергетических объектов, устройств по охране окружающей

среды, бытовой канализации и т.п., рекомендуется технологические нормы водоотведения принимать с коэффициентом 1,1—1,4.

На предприятиях по производству лекарственных средств, как правило, выпускается ряд различных препаратов (5 и более), причем номенклатура препаратов и мощность производства в течение года могут изменяться. В связи с этим, а также вследствие исключительно большого ассортимента препаратов определить количество сточных вод по предприятию довольно сложно. Поэтому в некоторых случаях (при выборе промышленной площадки, для предварительных расчетов на стадии разработки схем развития отрасли или экономического района и т.п.) в качестве ориентировочных можно использовать показатели по количеству сточных вод на единицу готового продукта — укрупненные показатели водоотведения, приведенные ниже:

Вид продукции по группам препаратов

Среднегодовое количество сточных вод, м³, на 1 т продукции

Синтетические лекарственные средства:	
крупнотоннажные (свыше 100 т/год)	700
среднетоннажные (от 5 до 100 т/год)	8 400
мелкотоннажные (меньше 5 т/год)	17 000
Витамины:	
крупнотоннажные (свыше 50 т/год)	500
среднетоннажные (от 2 до 50 т/год)	2 500
мелкотоннажные (меньше 2 т/год)	5 000
Антибиотики:	
крупнотоннажные (свыше 25 т/год)	10 000
среднетоннажные (от 1 до 25 т/год)	55 000
мелкотоннажные (меньше 1 т/год)	85 000

Укрупненный показатель водоотведения включает среднегодовой объем всех групп сточных вод, образующихся на предприятии заданной мощности в результате технологического процесса: от котельной, обеспечивающей предприятие технологическим паром и теплом, от бытовых помещений и столовой, от газоочистных установок, а также сточные воды собственно очистных сооружений и т.п.

В соответствии со схемой образования (п.1.1) сточные воды содержат различные химические и биологические загрязнения, состав и количество которых определяются расходными нормами сырья (расходными коэффициентами и материальным индексом).

Загрязненность сточных вод определяется их удельным расходом и расходными коэффициентами сырья на единицу готового продукта. Так, при производстве 1 т теобромона образуется 276 м³ сточных вод (см. табл. 1.3), содержащих различные химические вещества. При этом в сточных водах могут находиться химические вещества в следующих ориентировочных концентрациях, г/л:

Ангидрид уксусный	10,7
Аммиак	0,07
Бисульфит натрия	3,6
Диметилсульфат	5,7
Кислота монохлоруксусная	5,9
Кислота муравьиная	5,43
Кислота уксусная	7,54
Кислота серная	43,5
Едкое кали	1,8
Монометилмочевина	5,07
Натрий азотистокислый	3,2
Едкий натр	20,9
Карбонат натрия	3,62
Соли цинка	5,8

С учетом количества сырья, которое непосредственно вошло в состав готового продукта и было израсходовано на газовыделения, приведенные концентрации приблизительно отражают по материальному балансу количество загрязнений от данного производства. Ниже приведены данные химического анализа сточных вод действующего производства теоброма:

Температура, °С	30
Прозрачность, см	16
Порог разбавления до исчезновения цвета	1:20
Порог разбавления до исчезновения запаха	1:10
pH	3,7
ХПК, мг/л	5570
Сульфаты, мг/л	5 060,0
Хлориды, мг/л	1 044,0
Сухой остаток, мг/л	1 65 400,0
Прокаленный остаток, мг/л	14 107
Соли цинка в пересчете на цинк, мг/л	1 500,0

Сопоставление расчетного состава сточных вод с результатами химического анализа этих же стоков показывает значительные расхождения в концентрациях химических веществ. Так, согласно расчетному составу концентрация цинка в сточных водах в $5,8:1,5 = 3,8$ раза превышает установленную анализом. ХПК расчетного стока только по содержанию уксусного ангидрида и кислоты, не считая других органических веществ, также превышает установленную анализом. (Только за счет уксусного ангидрида при удельном значении 1,06 г/г ХПК расчетного стока составляет 18 г/л, тогда как согласно анализу ХПК = 5,6 г/л).

Если учесть, что анализы проводились для усредненного стока, то можно предположить, что в рассматриваемом частном случае действующего производства теоброма технологические расходы сточных вод на 1 т готового продукта значительно превышают технологические нормы водоотведения, приведенные в табл. 1.3. Следовательно, в данном действующем производстве имеется значительный резерв сокращения расхода сточных вод и соответственно увеличения концентрации содержащихся в них химических веществ. Приведенное сопоставление расчетного состава сточных вод с данными химического анализа может подсказать службе эксплуатации и проектировщикам возможные пути и объемы сокращения сточных вод, образующихся в производстве лекарственных препаратов.

Результаты химического анализа сточных вод первой группы, т.е. образующихся в технологическом процессе ряда действующих производств синтетических лекарственных средств, витаминов и антибиотиков приведены в табл. 1.4—1.6.

Из табл. 1.4 видно, что каждый препарат характеризуется определенным составом и количеством загрязнений. Сухой остаток и ХПК могут изменяться в широких пределах. Стоки могут иметь окраску от коричневой до бесцветной и т.д. Это в полной мере относится к сточным водам, образующимся при производстве каждого из синтетических лекарственных препаратов, номенклатура которых насчитывает несколько сотен наименований.

При производстве синтетических лекарственных препаратов образуются сточные воды индивидуального состава, однако для разработки предварительных решений и ориентировочной оценки загрязненного технологического стока можно использовать усредненный состав, который приведен в табл. 1.7.

Химический анализ сточных вод производства некоторых витаминов (см. табл. 1.5) показывает, что они могут быть отнесены к концентрирован-

Таблица 1.4

Показатель	Препарат			
	сульфадиметоксин	норсульфазол	амидопирин	кофеин
Температура, °С	30—35	23—26	25	30
Окраска	Светло-коричневая	Светло-желтая	Желтая	Соломенная
Прозрачность, см	4,5	6	6	6,5
Запах	Органических соединений			
Порог разбавления до исчезновения запаха	—	1:20	1—300	1:8
Порог разбавления до исчезновения цвета	—	1:8	1:20	1:5
pH	4,9	1,1	4,6	4,9
Сухой остаток, мг/л	2 140	21 092	—	85 360
Прокаленный остаток, мг/л	420	10 596	—	20 180
Сульфаты, мг/л	—	1 067	—	3 958
Хлориды, мг/л	—	685	—	2 088
ХПК, мг/л	22 280	8 500	7 400	2 230
Метанол, мг/л	864	250	—	176
Пиридин, мг/л	88	—	—	—
Диметиланилин, мг/л	4,9	—	—	—
Соли аммония, мг/л	1 170	—	—	—
Формальдегид, мг/л	—	—	150	—
Дихлорэтан, мг/л	—	2,0	—	—
Соли цинка в пересчете на цинк, мг/л	—	—	—	1 200

Таблица 1.5

Показатель	Витамин				
	С	В ₆	В ₂	Е	Д ₃
Запах, баллы	Специфический	5	Специфический	4	5
Окраска	Коричневая	Коричневая	Желтая	Светло-коричневая	Серо-зеленая
Прозрачность, см	0,5	0,3	—	—	5,0
Мутность	Значительная				Незначительная
pH	0,85	0,2	5,5	4,5	5,3
Сухой остаток, мг/л	118 856	66 990	7 600	8 400	2 600
Прокаленный остаток, мг/л	87 250	34 000	3 100	6 250	1 800
ХПК, мг/л	34 100	275 000	23 300	31 200	15 800
БПК ₁₀ , мг/л	26 880	109 600	8 870	890	3 480
Эфирорастворимые, мг/л	192	200	160	310	155
Хлориды, мг/л	32 505	3 233	1 100	2 010	13
Сульфаты, мг/л	35 662	150	—	12 400	1 680
Азот, мг/л:					
аммонийный	58,9	17	—	38	15
нитритный	25,2	7	—	0,15	—
нитратный	0,13	205	—	17,0	0,6
Фосфор, мг/л	Следы	0,5	—	—	—
Плотность, г/см ³	1,105	1,02	1,02	1,09	1,0

ным кислым стокам высокой степени минерализации. Окраска стоков меняется от серо-зеленой до коричневой, сухой остаток составляет от 2,6 до 119 г/л. В стоке много летучих органических веществ. Значительное превы-

Таблица 1.6

Показатель	Антибиотик				
	тетра- циклин	олеандо- мицин	пени- циллин	стреп- томицин	полимик- син
Окраска	Коричневая			Болот- ная	Желтая
Запах, баллы	3—5	4—5	Органических соединений		
pH	6,5—8,2	8,5	2,0	7,0	10
Взвешенные вещества, мг/л	3 900—7 300	350	2500	1 710	384
Плотный остаток, мг/л	1 700—2 150	2 015	13 200	10 160	13 630
Прокаленный остаток, мг/л	1 050	1 480	8 090	4 460	5 650
Щелочность, мг-экв/л	8,4	8,5	—	—	93,0
ХПК, мг/л	9 000	9 500	11 330	12 290	4 990
БПК ₅ , мг/л	5 000	5 500	6 400	4 300	1 010
БПК ₂₀ , мг/л	6 800	7 100	8 000	4 600	1 550
Азот общий, мг/л	—	—	420	406	218
Фосфаты, мг/л	—	—	407	178	10,4
Летучие кислоты, мг/л	—	—	528	980	291
Формальдегид, мг/л	35	—	87	100	—
Сульфаты, мг/л	—	—	1 560	700	1 300
Ацетон, мг/л	20	—	—	—	—
Роданиды, мг/л	6	—	—	—	—
Хлориды, мг/л	350—580	175	1 710	1 670	445
Железо, мг/л	0,3—1,0	0,5—1,0	—	—	—
Азот аммонийный, мг/л	90	1,0	27	57	95
Остаточная активность, М.Е.	11—50	10—19	—	—	—
Бутилацетат, мг/л	—	154	1 100	—	—
Бутанол, мг/л	—	35	610	—	—

шение ХПК над БПК указывает на высокое содержание биохимически не-окисляющихся органических веществ. Солевой состав стоков также может изменяться в широких пределах. При производстве каждого синтетического витамина образуется специфический, ему одному присущий состав сточных вод. Однако для предварительных решений о возможности размещения производства витаминов на заданной промышленной площадке может быть рекомендован ориентировочный усредненный состав сточных вод, который приведен в табл. 1.7.

Из данных табл. 1.6 следует, что сточные воды имеют ярко выраженный цвет и специфический запах. Значение pH может изменяться с 2 до 10. Значительное превышение плотного остатка над прокаленным указывает на высокое содержание загрязнений органического характера, а разница между значениями ХПК и БПК говорит о том, что в органических загрязнениях значительная доля их биохимически не окисляется. Для предварительной оценки загрязненности технологического стока в ряде случаев также можно воспользоваться "обобщенным" составом сточных вод от технологического производства антибиотиков, приведенным в табл. 1.7. Этот ориентировочный усредненный состав сточных вод технологических производств, т.е. стоков, образующихся непосредственно в технологическом процессе (первая группа стоков), дает общее представление о содержащихся загрязнениях, что необходимо для предварительного проектного решения ряда вопросов по размещению производств, их канализованию и предварительной очистке.

Приведенные в табл. 1.4—1.7 данные характеризуют загрязненность сточных вод первой группы. В ряде случаев эти стоки проходят локальную обработку, после чего смешиваются со всеми прочими сточными водами производства, цеха, предприятия (второй группой стоков) и образуют сточные

Таблица 1.7

Показатель	Технологические производства		
	синтетических лекарственных средств	витаминов	антибиотиков
Окраска	Желтая	Коричневая	Коричневая
Запах	Органических растворителей		
Прозрачность, см	6,0	2,0	—
pH	4,0	4,0	5,5
Взвешенные вещества, мг/л	180—320	120—300	2500
Сухой остаток, мг/л	10 500	35 000	8 500
Прокаленный остаток, мг/л	3 200	12 500	3 200
ХПК, мг/л	8 300	28 500	10 500
БПК ₅ , мг/л	2 500	5 200	5 500
БПК ₁₀ , мг/л	3 800	11 500	6 100
Хлориды, мг/л	1 200	3 500	850
Сульфаты, мг/л	1 450	5 200	1 200
Фосфор, мг/л	—	0,3	55
Азот, мг/л:			
аммонийный	—	35,0	42
нитратный	—	18,0	—
нитритный	—	3,5	—
Метанол, мг/л	250	—	—
Дихлорэтан, мг/л	5,0	—	—
Бутилацетат, мг/л	—	—	150
Остаточная активность, М.Е.	—	—	15

воды всего производства. Общие стоки значительно отличаются от технологических тем, что они менее концентрированы по загрязнениям. Такой общий сток производства, сформированный из сточных вод технологического процесса, от мытья оборудования и производственных помещений, устройств по очистке газовых и вентиляционных выбросов, котельных, складов, лабораторий и т.п., в конечном счете определяет схему канализования и выбор метода и системы очистки предприятия в целом.

Из-за специфики производства лекарственных препаратов (изменения номенклатуры и мощности в течение года, исходного сырья и др.), обуславливающей возможные изменения количества и состава сточных вод в десятки раз, состав общего стока производства, как правило, определяют экспериментальным путем.

Усредненные составы производственных сточных вод ряда действующих предприятий по производству синтетических лекарственных средств, витаминов и антибиотиков, полученные на основании анализов, даны в табл. 1.8—1.10.

Из результатов анализов следует, что показатели общих сточных вод предприятий, даже выпускающих один класс лекарственных препаратов, значительно отличаются друг от друга.

Так, предприятия по производству синтетических лекарственных средств (табл. 1.8) в зависимости от номенклатуры выпускаемых препаратов образуют сточные воды с содержанием органических веществ по ХПК в пределах от 810 до 4600 мг/л. Значение БПК₅ может изменяться от 265 до 1700 мг/л. При этом одно и то же предприятие образует сточные воды, ХПК которых составляет от 560 до 1100 мг/л. Из общего содержания органических веществ биохимически окисляется от 30 до 55%. Относительно небольшие концентрации взвешенных веществ и высокие показатели по ХПК указывают

Таблица 1.8

Показатели	Предприятие		
	№ 1	№ 2	№ 3
Окраска	Желтая	Темно-желтая	Светло-желтая
Порог разбавления, при котором окраска исчезает	1:70	1:80	1:64
Запах	Специфический	Специфический	Ароматических соединений
Порог разбавления, при котором запах исчезает	1:60	1:100	1:40
pH	2—7	4,5—7,8	2—4,5
ХПК, мг/л	810—1 570	1 120—1 580	2 100—4 600
БПК ₅ , мг/л	560—1 100	265—310	750—1 700
БПК _{полн} , мг/л	—	480—670	1 050—2 600
Хлориды, мг/л	980—1 640	980—1 120	950—1 520
Сульфаты, мг/л	1 650—2 850	480—550	650—1 200
Сухой остаток, мг/л	3600—5550	2 800—3 250	4 000—7 100
Прокаленный остаток, мг/л	2850—4800	2 100—2 380	2 800—4 900
Метанол, мг/л	—	—	0—25
Формальдегид, мг/л	—	—	0—3
Прозрачность, см	1,7—13,9	1,5—6,0	9—15
Взвешенные вещества, мг/л	90—310	90—120	15—250
Азот, мг/л:			
общий	0—171	150—200	0—31
аммонийный	30—170	110—130	0—30
нитратный	1,5—3,1	0	0
Фенол, мг/л	—	0—5,0	0—1,0
Пиридин, мг/л	—	0—18,0	—
Экстрагируемые вещества, мг/л	—	0—45	—

на то, что основная доля загрязнений находится в растворенном состоянии. Стоки имеют интенсивную окраску и устойчивый запах ароматических углеводородов.

Составы сточных вод предприятий по производству витаминов (см. табл. 1.9) также характеризуются высоким содержанием органических веществ и солей. ХПК усредненных стоков находится в интервале от 800 до 5400 мг/л при БПК_{полн} от 490 до 2500 мг/л. Соотношение между ХПК и БПК достаточно высокое, что указывает на значительную долю биохимически неокисляющихся органических веществ. Цвет стоков изменяется от зеленовато-желтого до темно-коричневого. В стоках содержится от 13 до 1120 мг/л веществ, экстрагируемых эфиром. Общее солесодержание в стоках колеблется от 350 до 3 900 мг/л, прокаленный остаток — от 250 до 2 400 мг/л, что указывает на значительное содержание веществ органического происхождения.

Сточные воды предприятий по производству антибиотиков (см. табл. 1.10) обладают высокой цветностью и значительным содержанием взвешенных веществ и органических загрязнений белкового характера. ХПК стоков колеблется от 650 до 6 470 мг/л при БПК_{полн} от 485 до 3 860 мг/л, что опять-таки позволяет говорить о наличии в стоке трудноокисляемых органических веществ. В стоках также содержатся значительное количество различных растворителей, следы формалина и готового продукта — антибиотиков.

На основании химических анализов сточных вод предприятий по производству синтетических лекарственных средств, витаминов и антибиотиков, приведенных в табл. 1.8—1.10, составлены усредненные показатели загрязненности стоков предприятий указанных подотраслей, которые дают общее

Таблица 1.9

Показатели	Предприятие		
	№ 1	№ 2	№ 3
Температура, °С	17–26	17–28	18–25
pH	5,0–9,0	5,0–8,5	3,2–4,9
Прозрачность, см	2,5–7,5	2,5–6,0	2,0–5,0
ХПК, мг/л	810–1 850	920–1 370	1 200–5 400
БПК ₅ , мг/л	370–610	320–580	—
БПК _{полн} , мг/л	490–980	510–760	860–2 500
Вещества, экстрагируемые эфиром, мг/л	105–410	13–85	650–1 120
Азот, мг/л:			
аммонийный	6,0–27	7–38	10–19
нитритный	0	Следы	0–0,23
нитратный	—	0,5–1,0	0–0,45
Фосфор, мг/л	0,5–6,5	0–2,4	Следы
Хлориды, мг/л	650–1 200	390–850	100–180
Сульфаты, мг/л	500–1 250	270–780	190–320
Взвешенные вещества, мг/л	110–270	100–215	135–175
Окраска	Зеленовато-желтая	Зеленовато-желтая	Темно-коричневая
Запах, баллы	5,0	5,0	4,0
Сухой остаток, мг/л	1 150–3 900	1 950–2 800	350–770
Прокаленный остаток, мг/л	680–2 400	550–1 200	250–400
Бензол, мг/л	2,1–4,3	3,8–9,4	—
Метанол, мг/л	—	10,0–65	—
Пиридин, мг/л	—	0,14–1,5	—

Таблица 1.10

Показатели	Предприятие		
	№ 1	№ 2	№ 3
Цветность, град	102–1 250	380–1 680	120–1 150
Температура, °С	20–25	21–27	20–26
Запах		Специфический	
pH	5,5–7,5	6,5–8,3	5,0–8,5
ХПК, мг/л	670–2 543	2 530–6 470	650–2 600
БПК ₅ , мг/л	380–1 300	1 320–2 960	340–1 500
БПК _{полн} , мг/л	485–1 730	1 600–3 860	490–1 950
Взвешенные вещества, мг/л	296–735	83–349	20–300
Сухой остаток, мг/л	2 749–5 430	1 430–6 400	700–4 000
Прокаленный остаток, мг/л	1 051–2 682	870–4 020	410–2 650
Азот, мг/л:			
аммонийный	20,4–47,8	64–290	16–64
нитритный	0,17–1,59	—	—
нитратный	0,17–6,4	—	—
Фосфаты, мг/л	0,5–2,5	5,69	1,5–26
Хлориды, мг/л	247–1 481	432–1 049	140–900
Сульфаты, мг/л	479–1 647	100–450	200–900
Метанол, мг/л	1,4–13,5	—	—
Ацетон, мг/л	13–60	2–80	—
Бутилацетат, мг/л	5,0–40	3–394	3–29
Формалин, мг/л	0,2–16,0	0,1–20	0,9–22
Остаточная активность, М.Е.:			
тетрациклина	—	5,6–71,2	—
олеандомина	—	1,8–142	—
Четыреххлористый углерод, мг/л	0,03–0,47	—	—

Показатели	Предприятие		
	№ 1	№ 2	№ 3
Пептиды, мг/л	38-96	12-64	20-45
Фенолы, мг/л	0,5-0,45	—	—
Пиридин, мг/л	0,2-42	—	—
Изопропанол, мг/л	22-78	—	—
Бутанол, мг/л	26-107	—	—

представление о составе и характере загрязнения и могут быть использованы при разработке рекомендаций на стадии предварительных проектных материалов, когда количество сточных вод определяется с помощью укрупненных норм водоотведения.

Усредненный состав производственных сточных вод предприятий, выпускающих синтетические лекарственные средства, витамины и антибиотики, приведен в табл. 1.11. Анализ показателей позволяет сделать вывод о том, что по своему характеру стоки рассмотренных групп производств значительно отличаются по ХПК, БПК, общему солевому составу, а также по специфическим загрязнениям. В связи с этим очистка данных стоков требует индивидуального подхода к выбору метода, схемы и типа сооружений, а также к определению расчетных и технологических параметров.

Таблица 1.11

Показатели	Предприятие по выпуску		
	синтетических лекарственных средств	витаминов	антибиотиков
Прозрачность, см	2-8	3-14	4-12
pH	2-8	4-11	5-8,5
ХПК, мг/л	3 500-7 850	610-5 400	2 000-3 500
БПК ₂₀ , мг/л	2 500-4 870	420-2 430	1 500-2 500
Взвешенные вещества, мг/л	160-450	70-760	100-350
Сухой остаток, мг/л	5 300-10 300	1 490-13 000	1 500-3 500
Прокаленный остаток, мг/л	3 200-8 600	350-9 000	700-1 700
Азот, мг/л:			
аммонийный	35-175	5,0-33	10-40
нитритный	1,0-70	Следы	Следы
нитратный	0-6	0,8-11	"
Фосфор, мг/л	2,2-9,0	1,1-2,5	—
Сульфаты, мг/л	320-2 400	290-5 600	—
Хлориды, мг/л	500-2 300	100-1 600	—
Цианиды, мг/л	—	0-12,0	—
Железо общее, мг/л	0,5-25	Следы	—
Фенол, мг/л	0-1,5	—	—
Соли цинка в пересчете на цинк, мг/л	0-35	—	—
Бутанол, мг/л	—	—	50-120
Бутилацетат, мг/л	—	—	80-150
Метанол, мг/л	0-42	13-29	0-150
Цветность, град	250-1 500	55-105	350-2 200
Антибиотик, М.Е.	—	—	1-15
Формальдегид, мг/л	0-4	0	0-180

2. КАНАЛИЗАЦИЯ

2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Все производственные сточные воды, образующиеся в технологическом процессе получения лекарственных препаратов, могут быть разделены на четыре категории: слабозагрязненные; загрязненные; сильнозагрязненные, или концентрированные; токсичные.

К слабозагрязненным относятся сточные воды, которые могут быть переданы в систему канализации предприятия или города без какой-либо предварительной обработки и при этом не окажут отрицательного воздействия на работу очистных сооружений перед сбросом очищенных стоков в водоемы. Этому условию удовлетворяет большая часть сточных вод, образованных от лабораторий, моек тары и посуды, водокольцевых насосов и других источников; состав этих стоков характеризуется следующими показателями: $pH = 6,0-8,5$; $BPK_{полн} \leq 500$ мг/л; ХПК: $BPK_{полн} \leq 1,5$; общее содержание ≤ 1 г/л, в том числе содержание сульфатов ≤ 100 мг/л и хлоридов ≤ 300 мг/л. Такие сточные воды по санитарно-химическим показателям, как правило, удовлетворяют требованиям Министерства жилищно-коммунального хозяйства РСФСР и местных Управлений водопроводно-канализационного хозяйства областных Советов народных депутатов по приему производственных сточных вод в коммунальную канализацию.

К загрязненным относятся сточные воды, которые могут быть переданы в систему канализации предприятия от мест образования без какой-либо предварительной обработки в цехах, но для общего стока предприятия в этом случае может потребоваться специальная локальная очистка перед передачей стоков в городскую (коммунальную) систему канализации. В число загрязненных входят стоки, образованные от промывки некоторых видов оборудования и сырья, мытья производственных и вспомогательных помещений, от котельных, газоочистных устройств, барометрических конденсаторов и других источников. Состав загрязнений этих стоков характеризуется следующими показателями:

$6 > pH > 8,5$; $BPK_{полн} > 500$ мг/л; ХПК: $BPK_{полн} > 1,5$.

Сильнозагрязненными, или концентрированными, могут считаться стоки, образованные от отдельных стадий технологического производства и требующие специальной предварительной обработки перед сбросом в систему канализации предприятия. Указанные стоки могут содержать различные растворители, специфические и прочие загрязнения в количествах, которые делают технически возможным и экономически целесообразным их извлечение, регенерацию или обезвреживание. Необходимая эффективность локальной обработки определяется допустимой концентрацией остаточных загрязнений в общем стоке предприятия.

К четвертой категории относятся сточные воды, локальная очистка которых технически невозможна или экономически нецелесообразна. Это могут быть маточные растворы, кубовые остатки и прочие стоки, которые содержат токсичные, неокисляемые или трудноокисляемые химические вещества органического и неорганического происхождения.

В качестве примера такого токсичного стока может служить отгон от регенерации, являющийся третьим стоком 6-й стадии производства витамина В₆. Данный сток имеет объем $0,45 \text{ м}^3$ на 1 т готового продукта, бесцветен, имеет $pH = 4,1$, содержит химические загрязнения по ХПК, равные $1\,400\,000$ мг/л, при незначительном значении BPK. Сточные воды четвертой категории и аналогичные им запрещается сбрасывать в канализацию. Они должны быть локализованы и переработаны либо уничтожены.

Следует отметить, что приведенная классификация сточных вод может быть уточнена с учетом местных требований, предлагаемых методов локальной и общезаводской обработки стоков и технико-экономических расчетов. Однако независимо от эффективности систем очистки сточных вод следует по возможности проводить мероприятия технологического характера, ведущие к сокращению количества сточных вод и содержащихся в них загрязнений.

2.2. ВНУТРИЦЕХОВЫЕ И НАРУЖНЫЕ СИСТЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ

Число внутрицеховых канализационных систем определяется принятой схемой локальной обработки и разделения сточных вод. К производственному корпусу могут быть подсоединены следующие сети производственной канализации: слабозагрязненных, загрязненных, сильнозагрязненных и токсичных стоков.

При достаточном обосновании сеть слабозагрязненных стоков может быть объединена с бытовой сетью цеха. Однако необходимо учитывать возможное влияние такого объединения на эффективность очистки общезаводских сточных вод.

Для канализования сильнозагрязненных стоков в зависимости от содержащихся в них загрязнений и принятых методов обработки можно применять несколько отдельных сетей: кислых стоков, ртутьсодержащих стоков, стоков с растворителями и др. В зависимости от принятой технологии отдельно можно подавать по трубопроводам бинарные, трех- и четырехкомпонентные смеси с растворителями.

Примером устройства отдельных трубопроводов смесей с растворителями является производство аскорбиновой кислоты, где от стадии получения диацетон — L — сорбозы прокладывается трубопровод трехкомпонентной смеси ацетон—окись мезитила—вода, а от стадии получения технической аскорбиновой кислоты — трубопровод четырехкомпонентной смеси хлороформ—ацетон—этанол—вода. Разделение стоков принято в связи с тем, что в данном случае из смеси на специальных установках выделяются и регенерируются растворители.

В зависимости от размещения локальных систем очистки стоков и регенерации содержащихся компонентов перечисленные сети канализации могут устраиваться в здании цеха или за пределами его на территории предприятия. В этом случае наружные системы канализации определяются принятой схемой обработки сточных вод предприятия в целом.

Слабозагрязненные стоки, образующиеся в различных цехах предприятия, вводятся в единую наружную сеть, которая может объединяться с бытовой сетью предприятия для передачи сточных вод на общезаводские очистные сооружения или в коммунальную канализацию. Аналогично организуются и прочие наружные сети.

Наружные сети канализации, прокладываемые, как правило, в земле, даже находясь в исправном состоянии, могут давать утечки. В результате этого агрессивные сточные воды, содержащие растворители, кислоты и другие примеси, могут загрязнять грунтовые воды, что способствует разрушению конструкций зданий и сооружений, а также загрязнению почвы и артезианских вод, поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы локальные системы обработки стоков и регенерации растворителей располагались как можно ближе к источникам образования сточных вод, желательно в пределах данного цеха. Однако при таком решении на предприятии может оказаться несколько однотипных мелких локальных систем обработки (уста-

новок нейтрализации кислых стоков, извлечения и регенерации одного вида сырья и т.п.), что неэкономично. Вследствие этого выбор оптимальной схемы канализации и обработки стоков для предприятия в целом решается только на основе технико-экономического обоснования.

При прокладке внутрицеховых систем канализации необходимо соблюдать следующие условия:

- стоки, содержащие токсичные вещества, кислоты, щелочи, горючие жидкости или газы, должны отводиться в канализацию через глухие присоединения;

- стоки, не содержащие вредные вещества, могут сбрасываться в сеть через трапы, расположенные в полах, через спускные трубы или шланги;

- сброс сточных вод, имеющих температуру выше 40°C, не допускается; допускается прокладка канализационных сетей вместе с другими технологическими трубопроводами в общих подпольных каналах, вентилируемых принудительными системами;

- не допускается объединение различных потоков сточных вод, при смешении которых могут образовываться взрывоопасные смеси и выпадать осадки.

Для предупреждения попадания в канализацию и распространения по ней взрывоопасных паров и газов необходимо предусматривать следующие устройства:

- канализационные сливы у технологических аппаратов должны иметь на трубопроводе гидравлические затворы и фланцевые соединения для установок заглушек во время остановки аппаратов на ремонт;

- каждый выпуск канализации загрязненных стоков должен иметь вытяжной вентиляционный стояк, устанавливаемый в отапливаемой части здания. Вентиляционный стояк должен быть выведен выше конька крыши здания не менее чем на 0,7 м и снабжен диффузором;

- на канализационных трубопроводах до присоединения к вытяжному стояку должны быть предусмотрены гидравлические затворы;

- все трубопроводы от аппаратов, предназначенные для спуска сточных вод, должны быть снабжены пробными кранами для отбора проб стока, направляемого в канализацию.

При прокладке наружных систем канализации нужно соблюдать следующие условия:

- канализационная сеть должна быть оборудована вентиляционными стоками не менее чем через 300 м трассы (преимущественно в пунктах выпуска сточных вод и цехов и на поворотах трассы);

- канализационные сети необходимо периодически очищать от осадков и осматривать. Период осмотра устанавливается специальным графиком;

- во избежание поступления в помещения вредных газов из наружных канализационных коллекторов последние отделяют от внутренних канализационных систем гидрозатворами, располагаемыми непосредственно у мест сброса стоков, либо групповыми гидрозатворами, размещаемыми в колодцах на выпусках из зданий; при наличии гидрозатвора в сети устанавливают вентиляционные стояки с обеих сторон от него;

- в сетях сильнозагрязненных стоков на длинных участках (более 250 м) располагают огнепреградительные колодцы с гидравлическими затворами, обеспечивающими локализацию случайных воспламенений;

- на напорных трубопроводах для прочистки сети устраивают ревизии на расстоянии между ними до 30 м;

- на самотечных сетях размещают колодцы не реже чем через 50 м;

скорость движения стоков в самотечных трубопроводах должна быть не менее 1 м/с при уклоне не менее 0,005.

Наружную сеть канализации выполняют из керамических глазурированных труб первого сорта, стыки заделывают асбестовым шнуром и арзамитовой мастикой.

2.3. УСЛОВИЯ СПУСКА СТОЧНЫХ ВОД

В зависимости от условий сточные воды после соответствующей очистки сбрасывают в городскую канализацию либо в водоем. При сбросе в городскую канализацию условия определяются в соответствии с инструкцией по приему производственных сточных вод, которая действует в пределах данной республики, края, области. Помимо инструкции в каждом конкретном случае условия сброса сточных вод могут быть уточнены или дополнительно расширены с учетом состояния городских канализационных сетей, очистных сооружений, водоема—приемника очищенных сточных вод.

В пределах РСФСР действует "Инструкция по приему промышленных сточных вод в городскую канализацию", которая утверждена Министерством жилищно-коммунального хозяйства РСФСР и согласована с Министерством водного хозяйства и Министерством здравоохранения.

Согласно этой инструкции производственные сточные воды не должны:

- нарушать работу сетей и сооружений;
- содержать более 500 мг/л взвешенных и всплывающих веществ;
- содержать вещества, которые способны засорять трубы канализационной сети или отлагаться на стенках труб;
- оказывать разрушающее действие на материал труб и элементы сооружений канализации;

содержать горючие примеси и растворенные газообразные вещества, способные образовывать взрывоопасные смеси в канализационных сетях и сооружениях;

содержать вредные вещества в концентрациях, препятствующих биологической очистке сточных вод;

содержать вещества, для которых не установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) в воде водоемов соответствующего вида пользования;

содержать опасные бактериальные загрязнения;

содержать нерастворенные масла, а также смолы и мазут;

содержать биологически жесткие ПАВ.

В городскую канализацию также запрещается сбрасывать производственные сточные воды, ХПК которых превышает БПК_{полн} более чем в 1,5 раза и БПК_{полн} которых превышает 500 мг/л.

Допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах предприятия для сброса в городскую канализацию $C_{пр}$, мг/л, определяется по формуле

$$C_{пр} = C_{ст} / (1 - p/100),$$

где $C_{ст}$ — допустимая концентрация данного вещества в водоприемнике сточных вод, мг/л; p — эффективность удаления вещества на городских очистных сооружениях, %.

При этом необходимо иметь в виду, что полученные допустимые концентрации не учитывают возможность разбавления производственных стоков городскими сточными водами, а также водой водоема — приемника очищенных сточных вод. Разбавляющий фактор может быть учтен дополнительно по согласованию с контролирующими организациями.

При поступлении в городскую канализацию производственных сточных вод, содержащих несколько загрязнений с одинаковым лимитирующим показателем вредности, сумма отношений концентраций C_1, C_2, \dots, C_n каждого из веществ к соответствующей допустимой их концентрации в производственном стоке $ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_n$ не должна превышать единицы:

$$C_1/ПДК_1 + C_2/ПДК_2 + \dots + C_n/ПДК_n \leq 1.$$

При сбросе сточных вод промышленного предприятия на очистные сооружения города общую концентрацию растворенных в них солей устанавливают из условия, что в процессе биологической очистки на городских сооружениях их содержание не изменяется, а их ПДК в воде водоемов рыбохозяйственного значения, куда могут сбрасываться сточные воды после очистки, составляет 1000 мг/л, в том числе сульфатов — 100 мг/л, хлоридов — 300 мг/л. В общем допускается сбрасывать на городские сооружения биологической очистки сточные воды промышленного предприятия, если они не способствуют снижению дегидрогеназной активности ила (ДАИ) на городских сооружениях более чем на 20%.

При сбросе сточных вод промышленного предприятия непосредственно в водоем условия такого сброса определяются в соответствии с "Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами". Для водоема, являющегося источником хозяйственно-питьевого водоснабжения и имеющего рыбохозяйственное значение, "Правила" предусматривают следующие показатели состава и свойств воды:

содержание взвешенных веществ не должно увеличиваться больше чем на 0,25 мг/л;

на поверхности водоема не должны обнаруживаться плавающие пленки, пятна минеральных масел и скопление других примесей;

вода не должна приобретать запахи и привкусы интенсивностью более двух баллов. Вода не должна сообщать посторонних запахов и привкусов рыбе;

окраска не должна обнаруживаться в столбике высотой 20 см;

летняя температура воды не должна повышаться более чем на 3°C по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет;

значение рН воды не должно выходить за пределы 6,5–8,5;

общее солесодержание не должно превышать 1000 мг/л, в том числе хлоридов — 300 мг/л, сульфатов — 100 мг/л;

растворенный кислород должен составлять не менее 4 мг/л в любой период года в пробе, отобранной до 12 ч дня;

полная биохимическая потребность в кислороде воды при 20°C не должна превышать 3,0 мг/л;

вода не должна содержать возбудителей заболеваний, ядовитые вещества и вещества, для которых отсутствует их предельно допустимая концентрация (ПДК).

В зависимости от состояния водоема и места сброса перечисленные показатели должны соблюдаться непосредственно в точке выпуска сточных вод в водоем или с учетом степени возможного смешения сточных вод с водой водоема и их разбавления на пути от точки выпуска сточных вод до расчетного створа ближайшего пункта хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного водопользования.

Необходимая степень очистки сточных вод перед сбросом их в водоем определяется расчетом. Смешение сточных вод с водой водоема характеризуется коэффициентом, который подсчитывается по формуле Фролова—Родзиллера:

$$\sigma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt{t}}}{1 + (Q/q) e^{-\alpha \sqrt{t}}},$$

где Q и q — расходы соответственно речной воды и сточных вод; l — расстояние от створа выпуска до расчетного створа; α — коэффициент, учитывающий гидравлические условия в реке и равный $\alpha = \varphi \xi^3 \sqrt{D/q}$. Здесь φ — коэффициент извилистости реки; ξ — коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод, равный при сосредоточенном выпуске их у берегов 1, а при рассредоточенном выпуске 1,5; D — коэффициент турбулентной диффузии. Коэффициент извилистости реки $\varphi = l_\varphi / l_n$, где l_φ и l_n — расстояния от выпуска до рассматриваемого створа по фарватеру и между теми же пунктами по прямой.

Коэффициент турбулентной диффузии для рек любого характера

$$D = \frac{g v_{cp} H_{cp}}{37 n_w C^2},$$

где v_{cp} — средняя скорость течения реки на участке смешения; H_{cp} — средняя глубина реки на том же участке; n_w — коэффициент шероховатости русла реки, равный 0,025 для рек с весьма благоприятными условиями течения воды (чистое прямое русло со свободным течением без обвалов и глубоких промоин) и 0,1 для горных рек с крупновалунным строением ложа, ярко выраженными перекатами и сильной пенистостью; C — коэффициент Шези, для открытых русел равный

$$C = (l/r_w) R^y.$$

Здесь R — гидравлический радиус; y — показатель, являющийся функцией коэффициента шероховатости и гидравлического радиуса. Гидравлический радиус, м, равен $R = Q/X$, где Q — площадь живого сечения; X — смоченный периметр. Для рек шириной более 30 м гидравлический радиус практически равен средней глубине реки H_{cp} . Показатель y при отсутствии ледяного покрова составляет: при $R < 1$ м $y = 1,5$; при $R > 1$ м $y = 1,3$.

Разбавление сточных вод в максимально загрязненной струе речного потока

$$n = (\tau Q + q)/q,$$

где Q — расход воды в реке; q — расход сточных вод; τ — коэффициент смешения. Требуемое разбавление сточных вод в контрольном створе

$$n_{tr} = (C_{ст} - C_{ф}) / (C_{доп} - C_{ф}),$$

где $C_{доп}$ — допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде водоема; $C_{ф}$ — фоновая концентрация загрязняющего вещества в водоеме; $C_{ст}$ — концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, сбрасываемых в водоем.

При принятии предварительного решения исходят из следующего условия: если справедливо равенство $n > n_{tr}$, то концентрация загрязняющего вещества не превышает допустимой концентрации в расчетном створе в воде водоема. Для приближенных расчетов при определении допустимой концентрации загрязнений в водоеме с учетом смешения сточных вод с водой водоема можно использовать следующие формулы:

по взвешенным веществам

$$C_{ст} \leq (\tau Q/q + 1) C_{доп} + C_{ф};$$

по органолептическим показателям

$$C_{ст} \leq (\tau Q/q) (C_{пдк} - C_{ф}) + C_{пдк};$$

по БПК_{полн}

$$C_{ст} \leq \left(\frac{\tau Q}{q} \right) \frac{1}{10^{-K_{ст} t}} (C_{пак} - C_p \cdot 10^{-K_p t}) + C_{пак} \frac{1}{10^{-K_{ст} t}};$$

по БПК_{полн} с учетом кислородного режима в водоеме

$$\alpha_{ст} \leq (2,5 \tau Q/q) (O_p - 4 - 0,4 C_p) - 10;$$

по санитарно-токсикологическому показателю вредности

$$C_{ст} \leq \frac{\tau Q}{q} \left(\frac{1}{N} C_{пак} - C_p \right) + \frac{1}{N} C_{пак};$$

по температуре воды водоема

$$t_{\text{см}} = \left(\frac{q}{Q} + 1 \right) t_{\text{Доб}} + t_p.$$

В этих формулах $C_{\text{Доп}}$ — допустимая концентрация загрязнения в речной воде; $C_{\text{ф}}$ — фоновая концентрация загрязнения в речной воде; $C_{\text{ПДК}}$ — предельно допустимая концентрация загрязнения в речной воде; $K_{\text{ст}}$ — константа скорости процесса потребления кислорода сточной водой; K_p — то же, речной водой; $t = l_{\text{ф}}/v_{\text{ср}}$ — время протока; C_p — БПК_{полн} речной воды выше места выпуска сточных вод; O_p — содержание растворенного кислорода в реке выше выпуска сточных вод; N — число веществ, нормируемых по одному и тому же показателю вредности; $t_{\text{см}}$ — температура сточных вод, при которой будет соблюдено санитарное требование относительно температуры воды в расчетном створе; $t_{\text{Доп}}$ — допустимое по правилам превышение не более чем на 3°C температуры воды водоема; t_p — максимальная температура воды водоема до выпуска сточных вод в летнее время.

Необходимый эффект очистки, %, определяется по формуле

$$\varepsilon = [(C_{\text{исх}} - C_{\text{ст}})/C_{\text{исх}}] 100.$$

Пример. Определение соответствия условий спуска сточных вод проектируемого химико-фармацевтического завода санитарным требованиям.

А. Данные исследования сточных вод химико-фармацевтического завода.

1. Проба — среднепропорциональная расходу, взята из общего стока; средний расход сточных вод $q = 0,3 \text{ м}^3/\text{с}$.
2. Окраска сточных вод бурая, исчезает при разведении 1:50 в столбе высотой 20 см.
3. Запах специфический, исчезает при разведении 1:45.
4. ХПК = 3 500 мг/л; БПК_{полн} = 2 500 мг/л.
5. Концентрация загрязняющих веществ, мг/л: хлориды — 900, сульфаты — 1 200; общее солесодержание — 5 300; взвешенные вещества — 280; метанол — 45; формальдегид — 12; фенол — 8; пиридин — 6.
6. Температура сточных вод составляет 23°C.

Кроме того, известно, что в сточных водах содержатся простые гликоли, органические кислоты и другие примеси. Плавающих примесей нет, загрязнения бактериологического характера отсутствуют.

Б. Данные исследования реки Н (водоем I категории).

1. Расстояние от намечаемого места сброса сточных вод в реку до створа перед первым по течению реки пунктом организованного водопользования $l_{\text{ф}} = 1 600 \text{ м}$; $l_{\text{п}} = 1 350 \text{ м}$.
2. Средний расход воды на расчетном участке реки $Q = 10,5 \text{ м}^3/\text{с}$.
3. Средняя скорость течения реки на расчетном участке $v_{\text{ср}} = 0,3 \text{ м/с}$.
4. Средняя глубина на расчетном участке реки $H_{\text{ср}} = 1,5 \text{ м}$.
5. Растворенный кислород $O_p = 8 \text{ мг/л}$.
6. БПК_{полн} = 1,6 мг/л; ХПК = 20 мг/л.
7. Концентрация загрязняющих веществ (фоновая), мг/л: взвешенные вещества — 1,5; хлориды — 68, сульфаты — 35, сухой остаток — 150.
8. Температура воды в реке в летнее время $t^{\circ} = 18^{\circ}\text{C}$.

Выпуск сточных вод проектируется в стрежень реки. Русло реки на расчетном участке — чистое, прямое, со свободным течением, без обвалов и глубоких промоин.

В. Определение степени очистки сточных вод перед сбросом их в водоем.

1. Определение коэффициента обеспеченности смешения. Для данного русла реки коэффициент шероховатости $n_{\text{ш}} = 0,025$. Гидравлический радиус для реки шириной 45 м принят равным средней глубине реки $R = 1,5$. Показатель функции коэффициента шероховатости при $R > 1 \text{ м}$ $y = 1,3 \sqrt{1/n_{\text{ш}}} = 1,3 \sqrt{0,025} = 0,205$.

Коэффициент Шези

$$C = (1/n_{\text{ш}})^{1/3} R^{2/3} = (1/0,025)^{1/3} 1,5^{2/3} = 43,2.$$

Коэффициент турбулентной диффузии

$$D = \frac{g v_{\text{ср}} H_{\text{ср}}}{37 n_{\text{ш}} C^2} = \frac{9,81 \cdot 0,3 \cdot 1,5}{37 \cdot 0,025 \cdot 43,2^2} = 0,0026.$$

Коэффициент извилистости реки

$$\varphi = t_{\text{ф}}/t_{\text{п}} = 1600/1350 = 1,185.$$

Коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод, $\xi = 1,3$ (при выпуске в стрелу реки).

Коэффициент гидравлических условий в реке

$$\alpha = \varphi \xi \sqrt[3]{D/q} = 1,185 \cdot 1,3 \sqrt[3]{0,0026/0,3} = 0,316.$$

Коэффициент смешения

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt{t}}}{1 + (Q/q) e^{-\alpha \sqrt{t}}} = \frac{1 - 2,72^{-0,316 \sqrt{1600}}}{1 + (10,5/0,3) 2,72^{-0,316 \sqrt{1600}}} = 0,52.$$

2. Определение кратности разбавления сточных вод в максимально загрязненной струе речного потока:

$$n = (\gamma Q + q) / q = (0,52 \cdot 10,5 + 0,3) / 0,3 = 19,2.$$

3. Предварительное определение степени требуемого разбавления. Для принятия предварительных решений выполняют расчет степени требуемого разбавления сточных вод химико-фармацевтического завода исходя из содержания в них загрязнений консервативного характера по формуле

$$n_{\text{тр}} = (C_{\text{ст}} - C_{\text{ф}}) / (C_{\text{доп}} - C_{\text{ф}}).$$

В соответствии с этой формулой степень требуемого разбавления по хлоридам при $C_{\text{доп}} = 300$ мг/л и $C_{\text{ф}} = 68$ мг/л

$$n_{\text{тр}} = (900 - 68) / (300 - 68) = 3,6;$$

по сульфатам при $C_{\text{доп}} = 100$ мг/л и $C_{\text{ф}} = 35$ мг/л

$$n_{\text{тр}} = (1\,200 - 35) / (100 - 35) = 18,0;$$

по общему солесодержанию при $C_{\text{доп}} = 1000$ мг/л и $C_{\text{ф}} = 150$ мг/л

$$n_{\text{тр}} = (5\,300 - 150) / (1\,000 - 150) = 6,06;$$

по четырем специфическим веществам, нормируемым по одному и тому же санитарно-токсикологическому показателю: метанолу ($C_{\text{доп}} = 3/4 = 0,75$ мг/л), формальдегиду ($C_{\text{доп}} = 0,05/4 = 0,0125$ мг/л), фенолу ($C_{\text{доп}} = 0,001/4 = 0,00025$ мг/л), пиридину ($C_{\text{доп}} = 0,2/4 = 0,05$ мг/л) при $C_{\text{ф}} = 0$ для этих веществ:

$$n_{\text{тр}}(\text{метанол}) = 45/0,75 = 60;$$

$$n_{\text{тр}}(\text{формальдегид}) = 12/0,0125 = 960;$$

$$n_{\text{тр}}(\text{фенол}) = 8/0,00025 = 32\,000;$$

$$n_{\text{тр}}(\text{пиридин}) = 6/0,05 = 120;$$

по взвешенным веществам при $C_{\text{доп}} = (C_{\text{ф}} + 0,25)$ мг/л и $C_{\text{ф}} = 1,5$ мг/л

$$n_{\text{тр}} = (280 - 1,5) / (1,75 - 1,5) = 1114.$$

Из полученных результатов следует, что для рассмотренных консервативных веществ предварительная очистка сточных вод от хлоридов и сульфатов не требуется; не нужно также понижать общее солесодержание, так как полученная степень разбавления по этим показателям намного меньше той, которая необходима для удовлетворения условиям сброса воды по солесодержанию.

4. Определение необходимой степени очистки сточных вод по взвешенным веществам:

$$C_{\text{ст}} = (0,52 \cdot 10,5/0,3 + 1) \cdot 0,25 + 1,5 = 6,3 \text{ мг/л};$$

$$\xi_{\text{взв}} = (280 - 6,3) / 280 \cdot 100 = 97,7\%.$$

5. Определение необходимой степени очистки сточных вод по БПК_{полн}. Время продвижения воды от места выпуска сточных вод до расчетного створа

$$t = t_{\phi} / v_{\phi} = 1600 / (0,3 \cdot 86400) = 0,062 \text{ сут.}$$

Константы скорости окисления органических веществ $K_{\text{ст}} = 0,06$ и $K_p = 0,1$ (устанавливаются по опытным данным);

$$C_{\text{ст}} = \frac{0,52 \cdot 10,5}{0,3} \frac{1}{10 - 0,06 \cdot 0,062} (3 - 1,6 \cdot 10^{-0,1 \cdot 0,062}) + \\ + 3 \frac{1}{10 - 0,06 \cdot 0,062} = 28,5 \text{ мг/л;}$$

$$\mathcal{E}_{\text{БПК}} = (2500 - 28,5) / 2500 \cdot 100 = 98,86\%.$$

6. Определение необходимой степени очистки сточных вод по БПК_{полн} с учетом кислородного режима водоема:

$$C_{\text{ст}} = \frac{2,5 \cdot 0,52 \cdot 10,5}{0,3} (8 - 4 - 0,4 \cdot 1,6) - 10 = 153,8 \text{ мг/л.}$$

7. Определение необходимой степени очистки сточных вод по санитарно-токсикологическому показателю вредности: по метанолу

$$C_{\text{ст}} = (0,52 \cdot 10,5) / 0,3 (3/4 - 0) + 3/4 = 14,4 \text{ мг/л;}$$

$$\mathcal{E} = (45 - 14,4) / 45 \cdot 100 = 68\%;$$

по формальдегиду

$$C_{\text{ст}} = [(0,52 \cdot 10,5) / 0,3] (0,05/4 - 0) + 0,05/4 = 0,24 \text{ мг/л;}$$

$$\mathcal{E} = (12 - 0,24) / 12 \cdot 100 = 98\%;$$

по фенолу

$$C_{\text{ст}} = [(0,52 \cdot 10,5) / 0,3] (0,001/4 - 0) + 0,001/4 = 0,0048 \text{ мг/л;}$$

$$\mathcal{E} = (8 - 0,0048) / 8 \cdot 100 = 99,94\%;$$

по пиридину

$$C_{\text{ст}} = [(0,52 \cdot 10,5) / 0,3] (0,2/4 - 0) + 0,2/4 = 0,96 \text{ мг/л;}$$

$$\mathcal{E} = (6 - 0,96) / 6 \cdot 100 = 84\%.$$

8. Определение допустимого сброса по температуре сточных вод:

$$t_{\text{см}} = \left(\frac{0,52 \cdot 10,5}{0,3} + 1 \right) \cdot 3 + 18 = 75,6^{\circ}\text{C.}$$

Показатели качества сточных вод, при которых они могут быть приняты водоемом, с учетом его самоочищающей и разбавляющей способностей, даны в табл. 2.1.

Рассмотренный пример по сбросу сточных вод химико-фармацевтического завода показал, что по своему составу стоки должны проходить не только полную очистку, но и доочистку на специальном комплексе сооружений. Особенно тщательную очистку нужно обеспечить по специфическим веществам с санитарно-токсикологическим показателем вредности. Вот почему, в частности на предприятиях медицинской промышленности, где осуществляется органический синтез, большое внимание должно уделяться изъятию растворителей из сточных вод.

Таблица 2.1

Показатели загрязнения	Состав сточных вод химико-фармацевтического завода	Расчетные показатели состава сточных вод, при которых они могут быть приняты водоемом	Необходимый эффект очистки сточных вод перед сбросом в водоем, %
Общесанитарные, мг/л:			
по БПК	2 500	28,5	98,9
по растворенному кислороду	2 500	153,8	93,8
по ХПК	3 500	100	55,9*
Органолептические (разведение):			
по окраске	1:50	1:19,2	62
по запаху	1:45	1:19,2	57
Санитарно-токсикологические, мг/л:			
по метанолу	45	14,4	68
по формальдегиду	12	0,24	98
по фенолу	8	0,0048	99,94
по пиридину	6	0,96	84
Взвешенные вещества, мг/л	280	6,3	97,7
Температура, °С	23	75,6	Не требуется
Солесодержание, мг/л:			
общее	5 300	5 300	То же
хлориды	900	900	"
сульфаты	1 200	1 200	"

* Эффект очистки по ХПК определен с учетом только разбавляющего фактора водоема.

3. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

3.1. СПОСОБНОСТЬ К БИОХИМИЧЕСКОМУ РАСПАДУ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ, ПРИСУТСТВУЮЩИХ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИКО-ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Под биохимическим распадом понимают удаление органических веществ за счет одновременно протекающих процессов диссимиляции и ассимиляции [1]. Диссимиляция представляет собой совокупность энзиматических процессов, в результате которых органическое вещество последовательно превращается в более простые органические соединения, причем конечными продуктами являются углекислый газ, вода, аммиак, соли азотной и серной кислот и другие неорганические компоненты исходного вещества. Под ассимиляцией понимают совокупность реакций, в результате которых органическое вещество оказывается переработанным в биомассу. Органические вещества разлагаются в результате биохимических процессов в различной степени и в соответствии с различными механизмами, определяемыми их составом и структурой.

Процессы биологического разложения зависят от физико-химических, биологических и химических факторов. К главным физико-химическим факторам относятся температура, растворимость вещества в сточной воде, pH воды, а также (в случае аэробного разложения) концентрация кислорода, растворенного в сточной воде. К главным биологическим факторам следует отнести выбранный комплекс микроорганизмов и характер его адаптивирования

к специфическим веществам, соотношение между концентрацией данного вещества и концентрацией сухой части биомассы, а также активность микроорганизмов, которая определяется прежде всего возрастом культуры. По мере старения активного ила уменьшается доля ассимилированных органических веществ и возрастает количество продуктов разложения. Из химических факторов решающими являются состав и структура исследуемого соединения, присутствие веществ, легко подвергающихся биохимическому разложению, и биогенных элементов.

В литературе, как правило, имеются данные по очистке некоторых видов сточных вод фармацевтических производств, особенно производства антибиотиков, однако отсутствуют сведения о биохимическом разложении синтетических органических соединений и полупродуктов их синтеза, а также других продуктов, таких, как антибиотики или биопрепараты. В ЧССР вопросами биохимического разложения некоторых соединений занимался Хромик [2]. Изучение возможности биохимического разложения имеет первостепенное значение для выбора метода биологической очистки сточных вод, поскольку в зависимости от результатов этого изучения сточные воды можно отнести к одному из трех типов. К первому типу относятся сточные воды, содержащие преимущественно вещества, подвергающиеся биохимическому разложению. Вторая группа сточных вод характеризуется наличием веществ, разлагающихся медленно или вообще не подвергающихся биохимическому разложению. Наконец, третий тип сточных вод содержит токсичные вещества, замедляющие или полностью ингибирующие процессы биологической очистки.

Способность к биохимическому разложению приведенных ниже соединений тестировал Хромик [2], используя адаптированный и неадаптированный активный ил. Промытый ил смешивали со сточной водой и добавляли вещества, содержащие биогенные элементы в таком количестве, чтобы соотношение ХПК: N :P было равным 100:5:1. Результаты исследования показали, что способность отдельных образцов сточных вод ферментативного производства лекарственных препаратов к биохимической очистке практически одинакова. Исходные значения ХПК, равные 1–2 кг/м³, через 24 ч снижались до 0,3 кг/м³ в присутствии как адаптированного, так и неадаптированного активного ила, однако в случае адаптированного ила указанное значение ХПК достигалось уже через 10–15 ч. Биохимический распад органических соединений, присутствующих в сточных водах ферментативного производства лекарственных препаратов, изучался также на лабораторной модели азотенка-смесителя. Сначала органические вещества удалялись на 73–75%, судя по значениям ХПК. После адаптивования активного ила эффективность очистки достигла 94% по ХПК и 99% по БПК₅. Большая остаточная загрязненность, выраженная показателем ХПК, указывает на наличие веществ, медленно подвергающихся биохимическому разложению. Отделение твердой фазы от жидкой проходило удовлетворительно.

Исследование способности к биохимическому разложению веществ, содержащихся в сточных водах производства D-хлорамфеникола, показало, что при применении как неадаптированного, так и адаптированного ила плохо разлагаются вещества со следующих этапов синтеза: бромирования п-нитроацетофенона, приготовления N-бензилиден-1 (п-нитрофенил)-2-аминопропан-1,3-диола и его обработки. На стадии бромирования неразлагающимся соединением является хлорбензол, наличие которого в сточных водах наиболее неблагоприятно сказывается на процессе биологической очистки. На стадии синтеза бензилиденового производного неразлагающимся компонентом сточных вод является, скорее всего, хлорбензол. При

последующей обработке этого продукта используется трихлорэтилен, который затрудняет биологическую очистку сточных вод как в аэробном, так и в анаэробном варианте. Биологическая очистка сточных вод с остальных стадий синтеза Д-хлорамфеникола происходит без особых затруднений. При испытаниях на полунепрерывной модели при использовании адаптированного активного ила была достигнута эффективность их очистки от 87 до 90% по ХПК.

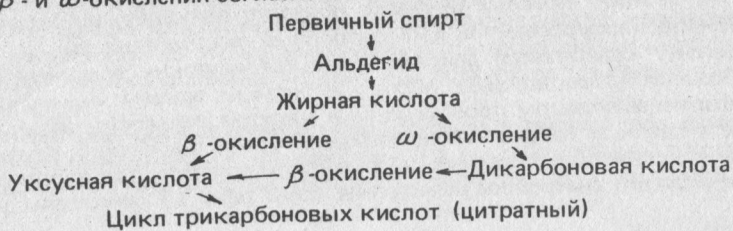
Тестирование отдельных веществ, присутствующих в сточных водах заводов по производству синтетических лекарственных препаратов, дало следующие результаты: к соединениям, медленно разлагающимся в присутствии неадаптированного ила, относятся п-бромацетифенон, 2-фенил-2- (п-бромфенил)-этанол и 3- (2-метоксифенокси)-1,2 пропандиол; 1-фенил-2 (2-карбоксифенил)-этанол разлагается, причем скорость его разложения увеличивается со временем, что свидетельствует о формировании адаптированной энзиматической системы. Практически не подвергаются биохимическому разложению α -метил-п-бромбензгидрил-2-диметиламиноэтиловый эфир, 2,4,6-трийод-3-аминобензойная кислота, N,N'-адило-бис (2,4,6 трийодбензойная) кислота, 1-(3-диметиламинопропокси)-дибензо (2,3-6,7) циклогептанол и α -метилбензгидрил-2-диметиламиноэтиловый эфир.

Кинетику удаления некоторых органических веществ, присутствующих в сточных водах фармацевтических производств, изучал Макк [3]. В этой работе замеры производились в течение нескольких суток при прохождении первой и второй стадий аэробной очистки. Как и следовало ожидать, органические соединения различного типа разлагались с различной скоростью. Толуол, фенол и этанол разлагались сравнительно быстро и удалялись практически полностью уже на первой стадии аэробной очистки. Метанол и изопропанол на первой стадии разлагались лишь частично, и сравнительно большое количество этих веществ поступало на вторую стадию очистки.

Общеизвестно, что биологическое разложение веществ определяется способностью микроорганизмов удалять органические вещества из сточной воды и образовывать из них новые клетки. Разумеется, в сточных водах присутствует ряд соединений, которые не могут быть непосредственно утилизированы микроорганизмами для роста клеток. Такие вещества должны предварительно претерпеть одну или несколько стадий биохимических превращений.

Метаболизм бактериальных систем может быть очень разнообразным, его характер в различной мере сказывается на суммарном балансе превращения веществ и на суммарной скорости удаления каждого вещества в отдельности. Так, например, бактерии *Pseudomonas fluorescens* разлагают фенол в несколько стадий, превращая его сначала в уксусную кислоту, затем в пировиноградную и, наконец, в 3-оксо-адипиновую [3].

Аэробное разложение первичных спиртов с двумя и более атомами углерода в молекуле осуществляют определенные виды *Pseudomonas* через соответствующие альдегиды и жирные кислоты до образования уксусной кислоты путем β - и ω -окисления согласно схеме:



Вторичные спирты сначала окисляются до соответствующих кетонов, а последние через енольную форму разлагаются на формальдегид и жирную кислоту. Жирная кислота окисляется далее до уксусной кислоты согласно схеме:



Большая группа веществ разлагается многими микроорганизмами в трехуглеродном цикле. Лишь соединения с двумя и более атомами С в молекуле могут участвовать в цикле трикарбоновых кислот. Вещества, содержащие один атом углерода, ассимилируются обычно через ТНФА-цикл, который, однако, не имеет большого значения в превращении веществ. Поэтому понятно, что в случае метанола, изопропанола и ацетона для отщепления атома углерода требуется более длительный путь биохимического разложения, чем для фенола, толуола и этанола.

Изучение и значение характера превращений веществ микробиологическим путем позволяют определять скорости процессов, происходящих при очистке различных видов сточных вод. Кроме того, знание этих закономерностей дает возможность целенаправленно изменять состав сточной воды посредством выбора того или иного технологического режима и тем самым влиять на качество биологической очистки сточной воды. Иными словами, при производстве лекарственных средств следует отдавать предпочтение, при прочих равных условиях, таким веществам, которые легче и быстрее разлагаются и удаляются биологическим путем.

3.2. ТОКСИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ВЕЩЕСТВ, ПРИСУТСТВУЮЩИХ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ХИМИКО-ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Токсичность различных веществ различным образом сказывается на аэробных и анаэробных микроорганизмах. Большинство тяжелых металлов ингибирует биологическую очистку при концентрации от 1 до 5 мг/л. Токсичность по отношению к активному илу возрастает в следующем ряду: шестивалентный хром, цинк, кадмий, трехвалентный хром, медь и никель [4]. Ионы ртути заметно ингибируют биологические процессы уже при концентрации 0,1 мг/л. Ионы тяжелых металлов обладают одинаковым токсическим действием как на аэробные, так и на анаэробные микроорганизмы.

По-разному сказывается действие ряда органических соединений типа хлорированных углеводородов, часто и в больших количествах используемых в фармацевтическом производстве в качестве растворителей. Вредное действие указанных соединений на активный ил не так велико, однако эти вещества исключительно токсичны для микроорганизмов, под действием которых происходит анаэробное разложение ила. В табл. 3.1 приведены данные

Таблица 3.1

Вещество	Концентрация, мг/л	Ингибирование выделения метана через 48 ч, %
Хлороформ	0,6	2
"	94	87
Метиленхлорид	8	51
Этиленхлорид	8	68
Ацетон	1 600	9
Этанол	2 400	0
Метанол	1 200	12

по токсичности некоторых органических соединений по отношению к анаэробному процессу, опубликованные в работе Макка [3]. Как видно из таблицы, некоторые из приведенных веществ в большей или меньшей степени блокируют процесс анаэробного распада. Эти вещества не должны присутствовать в сточных водах, поступающих на биологические очистные сооружения, в которых происходит анаэробное брожение ила. В противном случае токсичные вещества вместе со свежим илом попадают в метантенки, скапливаются там и со временем полностью блокируют процесс стабилизации ила, а тем самым и генерирование биогаза.

Хотя благодаря избирательному действию антибиотиков на микроорганизмы остаточный антибиотик в процессе биологической очистки воды полностью инактивируется, обычно требуется, чтобы его концентрация в сточной воде была ниже определенного предела. Брис [5], изучавший влияние антибиотиков на метаболизм микроорганизмов активного ила, нашел, что окситетрациклин и хлортетрациклин оказывают более заметное отрицательное действие на биомассу активного ила, чем пенициллин или стрептомицин. Данный автор рекомендует следить за тем, чтобы концентрация активного вещества в сточной воде не превышала 100 М.Е./л. Только при этом условии можно добиться высокой стабильной эффективности очистки, если использовать одноступенчатую аэробную очистку с низкой рабочей концентрацией активного ила. Хоу [4] нашел, что антибиотик при концентрации выше 200 М.Е./л оказывает токсическое действие на активный ил при более или менее длительной экспозиции.

Грюнвальд и Мельцер [6] в лабораторных условиях показали, что фунгицидин при концентрации его в городской сточной воде вплоть до 1000 М.Е./л не оказывает влияния на ход аэробной очистки при низкой нагрузке.

3.3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Ферментативное производство, как правило, представляет собой периодический процесс. Довольно частые изменения, происходящие при производстве различных продуктов, число наименований которых на некоторых заводах исчисляются десятками и сотнями, вызывают значительные колебания не только количества, но главным образом качества сточной воды. В связи с этим на крупных фармацевтических предприятиях предусмотрены буферные емкости — усреднители сточной воды, позволяющие снизить колебания ее качества и количества. С этими резервуарами обычно связана и нейтрализация, поскольку после смешивания сточных вод всех типов рН воды часто оказывается ниже [5].

При необходимости аварийного опораживания ферментеров, если не предусмотрено фильтрование их содержимого и складирование высушенных осадков на специальных контролируемых пунктах [4], используют аварий-

ные емкости, в которых аварийные стоки разбавляются менее загрязненными сточными водами и постепенно подаются на станцию водоочистки с остальными сточными водами [7]. В некоторых случаях присутствующие в сточной воде маслообразные вещества удаляют флотацией.

Сточные воды фармацевтического завода, содержащие хлорированные гидрокарбонаты, до поступления на биологическую очистку должны проходить предварительную очистку химическими или физическими методами (осаждение тяжелых металлов, удаление летучих растворителей). На заводе „Байер А.С.“ в Вуппертале [3] сточные воды после нейтрализации поступают на отдувку, где большая часть летучих растворителей вытесняется воздухом при соотношении вода:воздух, равном 1:10. Воздух с парами растворителей пропускают через фильтры с активированным углем и снова возвращают в барботажный аппарат. Вещества, адсорбировавшиеся на активированном угле, вытесняют водяным паром и после отделения от водной фазы сжигают. Этот способ позволяет выделять из сточной воды примерно 1 т растворителя в сутки.

По мнению большинства авторов [6, 8-16], биологическая очистка сточных вод фармацевтических предприятий предполагает их предварительное усреднение и нейтрализацию. Поскольку сточные воды имеют преимущественно кислый характер (рН от 1 до 5), для их нейтрализации наиболее целесообразно использовать щелочные сточные воды от других цехов завода. Однако их щелочности обычно не хватает для доведения рН сточных вод до 6-8. Поэтому для дополнительной нейтрализации используют известь, дозируя ее в виде известкового молока или порошка гашеной извести. Нейтрализацию можно производить или содой или едким натром, однако это слишком дорого. Более рентабельно использовать отходы других производств, например карбидную известь. Неправильно сконструированные системы нейтрализации не выполняют своего назначения, требуют излишнего расхода реагентов и увеличивают засоленность воды [16, 17].

По некоторым данным БПК₅ сточной воды после нейтрализации и осаждения снижается на 20-33% [10, 18, 19]. Данные об эффективности удаления взвешенных веществ довольно противоречивы [13, 14, 20-23].

Сточные воды после усреднения и нейтрализации содержат значительные количества органических соединений и обладают неприятным запахом.

Тяжелые и токсичные элементы рекомендуется осаждать в виде нерастворимых соединений, по возможности непосредственно на том участке производства, где эти отходы образуются [15, 24]. В случае специфического загрязнения, например цианидами, необходимо произвести обеззараживание, удалить масла и растворители с помощью водяного пара, произвести осаждение и фильтрование или экстрагирование. Все эти операции осуществляют непосредственно у источника сточной воды, содержащей соответствующее загрязнение.

Ядовитые сточные воды должны отводиться по специальной канализации. Небольшие количества высококонцентрированных сточных вод рекомендуется подвергать термической обработке. Во многих случаях изменение производственной технологии и исходного сырья приводит к изменению качества и количества сточных вод.

Пуск производства нового лекарственного препарата и связанное с ним использование различного сырья следует продумывать не только с точки зрения экономической целесообразности, но и с учетом образования твердых и жидких отходов и их влияния на окружающую среду.

3.4. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ХИМИКО-ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

3.4.1. Очистка сточных вод в аэротенках и на биофильтрах в лабораторных условиях. Одной из первых работ, посвященных аэробной биологической очистке сточных вод от производства антибиотиков в лабораторных условиях, является работа Масса [25], опубликованная в 1951 г. Было показано, что сточные воды с БПК₅=2000 мг/л хорошо очищаются этим методом. Полученные результаты позволили определить основные технологические параметры для заводской установки. Эффективность очистки при длительности аэрации 24 ч составляла 70%. Составной частью лабораторного устройства был скорый биофильтр, на который поступала сточная вода, частично очищенная в аэротенке. На биофильтре достигалась 50%-ная эффективность очистки при удельной нагрузке 0,9 кг/(м³·сут). Последний этап очистки сточной воды происходил на медленном биофильтре, эффективность которого составляла 65% при нагрузке по БПК₅, равной 0,09 кг/(м³·сут). Суммарная эффективность этой многоступенчатой биологической очистки была 94,7%. Остаточная БПК₅ в очищенной сточной воде в среднем составляла 105 г/м³.

По данным Хейкелекяна [22] снижение БПК₅ зависит от разбавления лишь при малой длительности аэрации.

Из результатов экспериментов, проведенных Дворжаком [16], следует, что аэробной биологической очистке легче всего поддаются отходы производства углеводовных производных. Исследования по очистке смеси искусственной бытовой сточной воды со сточной водой производства декстрана выполняли на двух лабораторных моделях аэротенков-смесителей. Опыты проводили с использованием одного и того же 10-суточного активного ила, но с разной длительностью аэрации — 3,67 и 7,5 сут, и при различной концентрации активного ила, равной 2 и 10 кг/м³. Эффективность очистки в первом и во втором случаях составила по БПК₅ соответственно 99 и 94,2%, а по ХПК — 96 и 92%.

Главная цель экспериментального лабораторного исследования, проведенного Отто с сотрудниками [26] на полунепрерывных моделях, состояла в том, чтобы выяснить влияние длительности аэрации, температуры и ингибирующих компонентов на биологический процесс очистки активным илом. Было найдено, что с увеличением длительности аэрации повышается стабильность показателей эффективности очистки. При времени экспозиции 48 ч эффективность очистки составляла 90–96%, тогда как при вдвое меньшей длительности аэрации эффективность очистки колебалась от 52 до 98%. При температуре 35°C эффективность очистки по БПК₅ составляла 90% и выше, а при температуре 5°C — только 67%. Присутствие циклических аминов в концентрациях до 100 мг/л не вызывает заметных затруднений при очистке, однако при более высоких концентрациях проявляется их ингибирующее действие. Было показано, что при концентрации циклических аминов 500 мг/л эффективность очистки по БПК₅ падает с 83 до 29%.

Концентрированные сточные воды производства тетрациклина успешно очищали с использованием активного ила на лабораторных установках при разбавлении этих отходов городскими сточными водами в отношении 1:5 [27] и при достаточно длительной аэрации, так как удаление субстрата из сточных вод производства тетрациклина происходит сравнительно медленно.

В опытах по очистке сточных вод, образующихся при производстве лекарственных препаратов, без предварительной нейтрализации и с нейтрализацией после смешивания с городскими сточными водами в отношении 1:5 достигнутая эффективность очистки по БПК₅ превышала 90%, а по ХПК составляла 60–80% [21].

Моханрао [10] показал экспериментальным путем, что ил не адаптируется к сточным водам производства лекарственных препаратов и витаминов. Оптимальное соотношение между субстратом и биомассой составляло 0,26 кг БПК₅/кг биомассы.

Андерсен [28] описал аэробную очистку сточных вод производства синтетических лекарственных препаратов при загрязненности воды по ХПК, равной 2,7 г/л. Несмотря на то, что седиментационные свойства активного ила даже после 22 сут адаптации были очень плохими (иловый индекс составляет 500–650 мл/г), ХПК очищенной сточной воды была сравнительно невелика — от 30 до 194 мг/л, а эффективность очистки по ХПК составляла 86–98%.

Лабораторные эксперименты по очистке сточных вод, образующихся при производстве пенициллина V, окситетрациклина, хлортетрациклина и канамицина, физико-химическим методом, одноступенчатой аэробной очисткой с полной биологической очисткой и двухступенчатой аэробной очисткой с полной и неполной биологической очисткой до достижения заданной эффективности проводили Карпухин и Балабанова [29]. Из сравнения технико-экономических показателей отдельных способов очистки сточных вод перечисленных типов авторы пришли к выводу, что затраты на очистку сточной воды физико-химическими методами на порядок выше затрат, связанных с биологическими методами очистки. Вывод, что затраты на проведение полной двухступенчатой аэробной очистки в два раза превышают затраты на одноступенчатую аэробную очистку, по меньшей мере спорный, а утверждение авторов, что неполная двухступенчатая биологическая очистка требует больше средств, чем полная одноступенчатая, вызывает сомнение. Правомерность такого сомнения подтверждается результатами следующей работы Карпухина, опубликованной двумя годами позже в соавторстве с Дормидошиной, хотя эта работа посвящена производству несколько иных препаратов [30].

Согласно данным Макка [3] очистка неразбавленных сточных вод фармацевтического завода в Вуппертале и разбавленных городскими сточными водами в отношении 1:4 требует применения двухступенчатой системы. Для получения высокой степени очистки необходима аэрация не менее чем в течение 12 ч. Результаты, полученные при использовании устройства типа аэроакселатор, приведены в табл.3.2.

Т а б л и ц а 3.2

Показатели	Степень аэробной очистки	
	I	II
Объем аэрируемого резервуара, л	24	24
Длительность аэрации, ч	6	6
БПК ₅ сточной воды, мг/л:		
исходной	1 600	120
очищенной	120	40
Эффективность очистки по БПК ₅ , %	93	97
ХПК сточной воды, мг/л:		
исходной	3 400	540
очищенной	540	300
Эффективность очистки по ХПК, %	84	88
Нагрузка по веществу на единицу объема аэроакселатора по БПК ₅ , кг/(м ³ ·сут)	6,8	0,5
Нагрузка на ил по БПК ₅ , кг/(кг·сут)	0,8	0,15
Концентрация растворенного кислорода, мг/л	1,5	4,5

Очевидно, что при совместной очистке производственных сточных вод с городскими сточными водами, когда концентрация загрязнений в поступаю-

щей на очистку воде по БПК и ХПК уменьшается в соответствии со степенью разбавления, уровень остаточного загрязнения очищенной сточной воды по БПК₅ и ХПК должен быть ниже. Например, при упомянутом выше разбавлении 1:4 остаточная БПК₅ была равна 20 мг/л, а ХПК составляла 180 мг/л.

Реймерс и сотрудники [31] приводят результаты очистки сточных вод производства антибиотиков, витаминов и сульфамидных препаратов. Биологическая очистка сточных вод после нейтрализации и осаждения проводилась на ползувальной установке одноступенчатыми и двухступенчатыми методами на биологических фильтрах. Как и следовало ожидать, лучшие результаты были получены при двухступенчатой очистке. Этот способ очистки гораздо экономичнее по сравнению с методом ликвидации отходов, предусматривающим упаривание и сжигание.

Опыты проводились со сточной водой, загрязнение которой по БПК₅ составляло 4 100 и 3 500 мг/л. В первом случае эффективность очистки на биофильтре, работавшем с нагрузкой 0,95 кг/(м³·сут) по БПК₅ при рециркуляционном соотношении 18:1, достигала 78%. Во втором случае, когда на биофильтр поступала сточная вода с БПК₅ = 3500 мг/л, нагрузка на биофильтр составляла 0,7 кг/(м³·сут), а рециркуляционное отношение было равно 12:1, эффективность очистки была ниже и в среднем составляла 66% по БПК₅. Следует отметить, однако, что такая высокая степень рециркуляции в заводских условиях значительно увеличила бы эксплуатационные расходы.

Хита [4] проводил опыты по очистке на биофильтрах сточных вод, образующихся при производстве антибиотиков, значение БПК₅ которых колебалось от 800 до 1200 мг/л. Этот автор нашел, что биофильтры с нагрузкой крупностью 20–30 мм легко зарастают уже при нагрузке 0,3–0,4 кг/(м³·сут) по БПК₅. Биофильтры с нагрузкой крупностью 50–80 мм не зарастали даже при нагрузке 1,2 кг/(м³·сут), а эффективность очистки по БПК₅ составляла 50–55% без рециркуляции очищенной воды.

3.4.2. Производственная очистка сточных вод в аэротенках и на биофильтрах. Первые станции водоочистки, использовавшиеся для обезвреживания стоков фармацевтических заводов, особенно заводов по производству антибиотиков, представляли собой комбинацию различных способов очистки, главным образом биологических методов очистки в аэротенках и на биофильтрах. Одной из первых была сооружена станция водоочистки в штате Мичиган (США) [23], перерабатывающая в сутки 2000 м³ стоков производства антибиотиков и стероидов. Сточная вода из аэротенка, снабженного U-образными диспергаторами, поступает на скорые биофильтры, два из которых соединены параллельно, а третий — последовательно. В качестве загрузки во всех трех фильтрах применен кальцит. Общая эффективность станции водоочистки составляет 95–98% по БПК₅, остаточная БПК₅ — около 20 мг/л.

Для очистки сточных вод ферментативного производства гамма-глобулина в количестве 4500 м³/сут Молоф [19] рекомендует применять схему соединения биофильтров, аналогичную использованной в штате Мичиган. Два орошаемых башенных биофильтра диаметром 12 м соединялись параллельно, третий — последовательно. На рециркуляцию поступала часть возвращаемой воды, которую смешивали со сточной водой до стадии предварительной очистки. Другая часть шла на разбавление сточной воды перед биофильтрами. Хотя для очистки сточных вод можно ограничиться использованием аэротенка, комбинированный способ отличается большей эффективностью — от 96 до 98% по БПК₅.

Примерно в то же время и в том же журнале опубликовано сообщение Мак-Кинни [32], посвященное совместной очистке сточных вод текстильно-

го производства и производства антибиотиков в штате Пенсильвания (США). В аэротенк-смеситель поступало в сутки около 1000 м^3 сточных вод, содержащих органические загрязнения по БПК₅ от 9 до 30 г/л и суспендированные вещества до 6 г/л. Очищенная вода имела БПК₅ около 50 мг/л и содержала 0,5–2 г/л взвешенных веществ и до 1 г/л неразлагающихся веществ.

Хоу [33] описывает очистку сточных вод производства антибиотиков с использованием трехступенчатой биологической системы. В качестве первой ступени использовался аэротенк с неполной биологической очисткой, работавший с большой нагрузкой. Эффективность очистки составляла около 80%. Второй ступенью очистки служили два биофильтра диаметром 16 м, два резервуара для хлорирования и два вторичных биофильтра диаметром 46 м с эффективной высотой загрузки 2 м, работавших с нагрузкой 2,8–3,1 кг ($\text{м}^3 \times \text{сут}$) по БПК₅. Эффективность второй ступени биологической очистки составляла 70–80%. Очищенную таким образом сточную воду разбавляли дождевой водой и очищали с 50%-ной эффективностью в следующем аэротенке. Суммарная эффективность очистки всей системы составляла 90–95%.

На станции водоочистки в г.Ростоки под Прагой (ЧССР) производится очистка смеси городских сточных вод и сточных вод производства антибиотиков [34]. Станция состоит из двух резервуаров-смесителей с временем пребывания 0,5–2 ч, двух параллельных резервуаров-отстойников и двух скорых биофильтров с вторичным отстойником. Ил из этого отстойника смешивают с концентрированными сточными водами производства антибиотиков и подвергают аэрации в резервуаре в течение 1–3 сут.

Завод по производству лекарств и витаминов в Хайдарабаде (Индия) сбрасывает 650 м^3 сточных вод в сутки с БПК₅ до 15 г/л [10]. На станции водоочистки установлено два скорых биофильтра, на которые поступает предварительно усредненная сточная вода с БПК₅ = 14 г/л. Значение БПК₅ воды, вытекающей из биофильтров, колеблется от 83 до 300 мг/л. Отношение ХПК:БПК₅ неочищенной сточной воды составляет от 1,5 до 2,2; в очищенной воде оно изменяется в пределах от 3,3 до 6,0, что указывает на присутствие в ней веществ, не поддающихся разложению биологическим путем.

Результаты очистки в заводском масштабе сточных вод производства антибиотиков с загрязненностью по БПК₅ в среднем 1000 мг/л описаны в работе [35]. В аэротенк для улучшения питательной среды добавляли неорганический фосфор, поскольку его количество в сточной воде было слишком мало. Изучение процесса аэробной очистки показало, что вещества, содержащиеся в сточной воде, разлагаются биологическим путем практически полностью. Было также установлено, что добавление в барботируемые резервуары до начала аэрации сульфата двухвалентного железа в количестве от 2 до 20 мг/л в качестве коагулянта практически не влияет на эффективность очистки.

Олешкевич [36] проводил опыты по двухступенчатой очистке очень концентрированных сточных вод фармацевтической промышленности на биофильтрах. На полузаводской установке нагрузка первой ступени составляла $16 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$ по БПК₅, причем экстремально высокую концентрацию удаляемого биологическим путем загрязнения необходимо было снижать разбавлением. Наиболее экономичным оказалось 4–5-кратное разбавление концентрированной сточной воды. Результаты работы системы водоочистки в полузаводском масштабе подтвердили известное ранее положение о том, что для успешного функционирования биофильтров необходима определенная минимальная гидравлическая нагрузка на единицу поверхности, которая в данном случае составляла $35 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$.

На фармацевтическом заводе на севере Италии [37] сбрасывается сточная вода с загрязнением по БПК₅, равным 650–720 г/м³. Сточная вода содержит, кроме того, 180 г/м³ аммиака в виде NH₃, масло и хлороформ в концентрации 2 г/м³. Масло удаляют флотацией, затем сточную воду после нейтрализации подают в количестве 500 м³/сут на биофильтр с плоскостной загрузкой объемом 150 м³. Эффективность очистки составляет 50%, поэтому частично очищенная сточная вода проходит дополнительную очистку в аэротенке.

3.4.3. Биологический анализ активного ила. Леонова и Карпухин [38] изучали биоценоз активного ила при очистке сточных вод, образующихся при производстве пенициллина G, стрептомицина и других антибиотиков, и сравнивали его с составом активного ила при очистке смеси сточных вод производств пенициллина V, окситетрациклина, хлортетрациклина и канамицина. Анализ показал, что качественный состав бактерий был примерно одинаков у исследованных образцов активных илов. Было идентифицировано 85 бактерий четырех родов из 19 видов. Отдельные роды были представлены следующим образом: *Pseudomonas* — от 62 до 73%, *Sarcina* и *Micrococcus* от 0 до 12%, *Bacterium* — от 12 до 23%. Из других микроорганизмов присутствовали *Aspidisca costata*, *Opercularia glomerata*, *Vorticella microstoma*, *Lionotus lamella*, *Stylomidria postulata*, *Opercularia coarctata* и некоторые зооглеи. Контроль работы аэротенка на основе регулярных биологических анализов активного ила производства антибиотиков проводила Оттова [39].

3.4.4. Анаэробные способы очистки. Анаэробному разложению концентрированных сточных вод посвящен ряд работ советских авторов, прежде всего Базякиной, Калабиной и Роговской [40, 41]. Было показано, что анаэробная очистка целесообразна главным образом в тех случаях, когда органические загрязнения, присутствующие в концентрированных стоках, токсичны для аэробных микроорганизмов, но не замедляют анаэробный распад либо быстрее разлагаются в процессах восстановления, чем в процессах окисления. Анаэробная очистка считается экономически целесообразной, когда содержание органических веществ, подвергающихся анаэробному распаду, выше 10 кг/м³ по БПК₅. Недостатком анаэробной очистки является плохое отделение ила от очищенной воды. Вода после анаэробной очистки содержит еще сравнительно много остаточных органических загрязнений, которые удаляют аэробной очисткой. Необходимо также поддерживать достаточную концентрацию микроорганизмов анаэробного разложения, поскольку переработка органических веществ на биомассу происходит довольно медленно, особенно у чувствительных бактерий, продуцирующих метан. Метанпродуцирующие бактерии являются определяющим фактором всего процесса анаэробной очистки. С другой стороны, малый прирост биомассы имеет преимущество, заключающееся в том, что продуцируется малое количество избыточного ила и достигается более высокая степень распада органических веществ при одновременном выделении метана в качестве ценного побочного продукта. Преимуществом является также малый расход энергии, так как в отличие от аэробных процессов процесс анаэробного распада не требует энергоемкой операции насыщения воды кислородом.

Опыты по анаэробной очистке стоков производства антибиотиков в лабораторном масштабе проводил Мадера с сотрудниками [39]. Он показал, что анаэробная очистка смеси сточных вод производства стрептомицина, тетрациклина и пенициллина неэффективна в области как мезофильного, так и термофильного брожения. Анаэробная очистка стоков производства

тетрациклина неэффективна даже при добавлении первичного ила городских сточных вод в отношении 1:2.

Возможности анаэробной очистки сточных вод завода Терре Хауте, штат Индиана (США), по производству лекарственных препаратов изучал Этцел [20], используя лабораторную модель метантенка. Лекарственные препараты на этом заводе производятся как химическим синтезом, так и ферментативным путем. Опыты проводились с двумя образцами сточных вод, содержащими меньшее и большее количество загрязнений. В первом случае в модели метантенка при продолжительности процесса 15 сут и температуре 37°C содержание органических загрязнений в сточной воде снизилось с 5 до 1,1 г/л по БПК₅. Это означает, что эффективность очистки была равна 78%. Во втором случае концентрация органических примесей в сточной воде по БПК₅ составляла 13,9 г/л, а эффективность очистки колебалась от 73 до 80% при продолжительности процесса 30 сут. Остаточное загрязнение воды при этом было примерно в 3 раза выше, чем в первом случае. Для предупреждения восстановления сульфата до сероводорода в модель метантенка добавляли нитраты.

В США были разработаны различные варианты анаэробного разложения концентрированных сточных вод. Один из вариантов предусматривает использование активного ила. Этот метод иногда называют анаэробным контактным процессом, или очисткой анаэробным активным илом [42, 43].

Затруднения, возникающие вследствие ограниченного воспроизводства анаэробных микроорганизмов, можно устранить, модифицируя очистные сооружения. При очистке анаэробным активным илом достаточное количество биомассы в метантенке поддерживается рециркуляцией ила, отделяемого от очищенной воды [44]. При использовании анаэробных фильтров достаточное количество фиксированных на загрузке фильтра микроорганизмов обеспечивается также рециркуляцией [45].

Работа анаэробных фильтров исследовалась в лабораторном масштабе при обычной температуре и при нагревании [45, 46]. Янг и Мак-Карти [47] проводили опыты на анаэробных фильтрах с субстратами, содержащими метанол, ацетаты и пропионаты в концентрации около 2000 мг/л по ХПК. За 12 ч разлагался в среднем 81% субстрата, а в очищенной воде содержалось менее 20 мг/л взвешенных веществ. Продолжительность пребывания на фильтре нерастворимых веществ составляла около 100 сут, а продолжительность эксперимента — 307 сут. По мнению авторов, метод очистки сточных вод на анаэробных фильтрах имеет ряд преимуществ. Он пригоден для удаления растворенных органических веществ и не требует рециркуляции. Кроме того, высокая концентрация активных микроорганизмов на фильтре позволяет проводить очистку и менее концентрированных сточных вод при минимальной температуре. Практически снимается проблема дальнейшей переработки избыточного ила, так как его количество очень невелико.

Дженнет и Деннис [48] изучали возможности очистки сточных вод фармацевтического завода фирмы Гофман Тафт в Спрингфилде, штат Монтана (США), на модели анаэробного фильтра при различных условиях и залповых нагрузках.

Сточная вода содержала примерно 1% метанола, что составляло 95% найденного значения ХПК, и небольшое количество толуола. Чтобы обеспечить полноценную питательную среду для микроорганизмов, к сточной воде добавляли хлорид аммония и кислый фосфорнокислый калий в соотношении P : N : C = 1:5,9:100.

На анаэробный фильтр поступала сточная вода с загрязнением от 1000 до

16000 мг/л по ХПК. Продолжительность фильтрации изменялась от 12 до 48 ч, нагрузка на фильтр по органическим веществам колебалась от 0,22 до 3,52 кг/(м³.сут) по ХПК. Эффективность удаления органического загрязнения составляла 93,7—97,8%. Было найдено, что фильтры реагируют на резкие изменения концентрации загрязнений в сточной воде и нагрузки снижением эффективности очистки, однако постепенно адаптируются к новым условиям, причем их эффективность снова повышается до достижения нового равновесного состояния. Содержание метана в выделявшемся биогазе колебалось от 60 до 85%.

3.4.5. Окончательная очистка (доочистка) сточных вод. По данным Карпухина [29], расходы на доочистку сточной воды физико-химическими методами после ее полной биологической очистки почти равны расходам на одноступенчатую полную биологическую очистку в аэротенке.

Сточная вода, прошедшая полную биологическую очистку и имеющая сравнительно низкую концентрацию остаточного загрязнения по БПК₅, не сказывается отрицательно на кислородном режиме водоема-реципиента и не угрожает жизни его обитателей. Однако эта вода имеет еще достаточно высокое значение ХПК. В некоторых случаях она бывает сильно окрашенной и мутной. Цветность воды иногда достигает 1200 град. по стандартной кобальтовой шкале [27, 30, 35]. Поэтому для окончательной очистки сточных вод, прошедших биологическую очистку, часто рекомендуют использовать физико-химические методы— хлорирование или адсорбцию на активированном угле. Как правило, при такой обработке устраняется и запах [29]. Белевцев с сотрудниками [49] рекомендует применять для обесцвечивания диоксид хлора.

3.4.6. Сжигание. Высококонцентрированные жидкие отходы производства антибиотиков можно сжигать, используя подходящее топливо. На одном фармацевтическом заводе, где некоторые виды сточных вод содержат большое количество антибиотиков, детергентов и 0,5—2% остаточных растворителей, главным образом бутилацетат, было проведено их опытное сжигание. Загрязнение этих стоков органическими веществами, выраженное через БПК₅, колебалось от 30000 до 150000 мг/л [50]. Найденная при сжигании теплота сгорания составляла 627—1045 кДж/кг.

При проведении эксперимента сжигалось 800—1000 л отходов в 1 ч, причем соотношение нефти и сточной воды поддерживалось равным от 1:6 до 1:6,5. Позже для подачи стоков был смонтирован дозирующий насос, и оборудование модифицировали таким образом, чтобы можно было сжигать сточную воду с содержанием 27% NaCl, используя отработанные растворители. С помощью двух специально сконструированных форсунок впрыскивали 800 л/ч сточных вод и 150—200 л/ч отработанных растворителей с теплотой сгорания от 16700 до 20900 кДж/кг. Отношение нефти к отходам составляло 1:7,4.

3.4.7. Переработка ила. В зависимости от способа очистки сточных вод фармацевтических заводов, типа продукции и использованной технологии производства образуется большее или меньшее количество в той или иной мере стабилизированного органического ила. Ил, если в него не попадают резистентные вспомогательные вещества, образующиеся при производстве, и отсутствуют вещества, токсичные для анаэробных бактерий, можно стабилизировать в метантенках. Сырой ил можно также стабилизировать аэробным способом либо в отдельных аэрируемых резервуарах, либо в аэротенках, работающих с низкой нагрузкой при достаточном времени созревания ила.

Габаччия [51] в полужаводском масштабе утилизировал ил для приготовления компоста, смешивая его с лошадиным навозом и другими присадками.

Витман [52] и Пьюрис [53] считают, что сырой ил после добавления извести можно стабилизировать обычным анаэробным способом. Стабилизированный ил пахнет дегтем, а после высушивания может быть использован в качестве ценного удобрения. Если при анаэробном брожении ила выделяются газы с неприятным запахом, их можно сжигать в смеси с пропаном [7,52].

3.5. СОБСТВЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПО ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ АНТИБИОТИКОВ И ЛИЗИНА НА СТАНЦИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД (ПУСКОВОЙ ПЕРИОД)

Проходящая пусковой период станция водоочистки была спроектирована до пуска отдельных производственных цехов завода на основе лабораторных экспериментов с модельной смесью сточных вод. Работники Гидроконсульта (Братислава, ЧССР), основываясь на данных инженеров-технологов по отдельным видам производства, предполагали, что результирующая смесь сточных вод будет иметь БПК₅ около 600 мг/л, а при постоянном притоке аварийных стоков из уравнительного резервуара БПК₅ будет достигать 740 мг/л. Лабораторные исследования показали, что эта смесь при pH около 7 хорошо очищается аэробным способом. Предполагалось, что сточные воды будут поступать в количестве 50 л/с, так что проектная мощность станции предусматривала переработку воды с загрязнением по БПК₅ 3200 кг/сут..

На основе этих данных была построена станция водоочистки, включающая следующие объекты:

- уравнительный резервуар для аварийных стоков полезным объемом 213 м³;

- устройства для механической предварительной очистки, т.е. грубые и тонкие решетки, песколовки и маслоотделители;

- шестикоридорный аэротенк общим полезным объемом 1704 м³, аэрируемый глубоко погруженными решетками, составленными из дырчатых труб с диаметром отверстий 5 мм;

- вторичный цилиндрический отстойник диаметром 15 м полезным объемом 460 м³.

Из центральной заводской компрессорной станции на станцию водоочистки можно отбирать до 12 000 м³/ч сжатого воздуха.

При вводе очистной станции в эксплуатацию были проведены замеры количества и определен качественный состав сточных вод, поступающих на очистку, а также стоков из отдельных производственных цехов.

3.5.1. Количественный и качественный состав сточных вод отдельных цехов. Основной продукцией завода являются лизин, низкомолекулярный декстран, тетрациклин, хлортетрациклин, V- и G-пенициллины. Производство каждого лекарственного препарата сопровождается образованием соответствующего типа сточных вод.

Лизин. При производстве лизина временами могут сбрасываться сильно загрязненные сточные воды, имеющие ХПК 20 000 мг/л и выше. Поскольку в цехе установлено 6 реакторов объемом по 37 м³, то в наиболее неблагоприятном случае можно ожидать 222 м³ аварийных сбросов в сутки. Кроме того, в сток попадает избыточный центрифугированный технологический ил в количестве от 2 до 5 м³, который содержит много органических веществ и имеет низкое значение pH. Следует отметить, однако,

что по технологическому регламенту, предусмотренному для этого цеха, избыточный центрифугированный ил должен далее перерабатываться на других производственных участках (Р3 и Р4). Плохо поддается учету объем промывных вод, которые содержат значительное количество нерастворенных веществ; рН промывных вод сильно колеблется и бывает выше 7. При производстве лизина сбрасываются также сточные воды с ионообменных колонн. Эти стоки часто имеют низкие значения рН, а их количество и загрязнение по БПК₅ в большой степени зависят от периодичности, с которой промывная вода поступает на химическую нейтрализацию.

Декстран. При автолизе дрожжей сбрасывается небольшое количество сточных вод, содержащих дрожжи, и около 100 л люттерных вод, содержащих высокомолекулярный декстран и фруктозу, образующуюся при ферментации.

Тетрациклин и хлортетрациклин. Каждые 18 ч цех сбрасывает маточный раствор, образующийся на участке вакуум-фильтрации, в количестве 35 м³, содержащий 5% сухого вещества и антибиотик до 300 М.Е. Маточные растворы, имеющие рН=9,0—9,5, нейтрализуются до рН=7,0. Кроме того, в сток идет раствор щелочи с рН=12, которым промывают ферментеры. Промывную воду спускают дважды за 18 ч, каждый раз в количестве 0,5 м³, и нейтрализуют серной кислотой. Раз в месяц производят полную очистку и выварку ферментера, при этом расходуется 35 м³ воды. Плохо поддается учету количество стоков, образующихся из остатков питательной среды, рН которых составляет 7—8.

V- и G-пенициллины. В одном производственном цикле образуется около 38 м³ отработанных маточных растворов и 0,5 м³ отходов при промывке ферментеров.

Из приведенного краткого обзора видно, что точно определить количественный и качественный состав сточных вод в отдельных производственных секторах практически невозможно. Результаты проведенных измерений позволяют лишь примерно указать среднее количество и качество сточных вод, сбрасываемых в отдельных цехах (табл.3.3).

Таблица 3.3

Показатели	Цех регенерации	Производственные участки			Санитарно-технические устройства	Всего
		Р ₂	Р ₃	Р ₄		
Количество, л/с	5	6	14	22	3	50
БПК ₅ , мг/л	3000	500	800	3500—6000	200	2'000—3000

В табл. 3.4 приведена динамика изменения значений ХПК сточной воды из производственного участка Р₄ в течение 4 сут за два производственных цикла.

Кроме того, определяли значения БПК₅ и ХПК усредненных образцов сточной воды, полученных сливанием отдельных проб, отбираемых в течение 24 ч. Результаты анализа приведены в табл. 3.5.

Приведенные в табл. 3.4 результаты показывают, что количество органических загрязнений в сточной воде производственного участка Р₄, выраженное по ХПК, очень сильно колеблется не только от часа к часу, но и в течение более коротких временных интервалов. Минимальные значения ХПК составляли 800 мг/л, максимальные — до 13 800 мг/л. Более того, как

Таблица 3.4

1-е сут		2-е сут		3-и сут	4-е сут
Время взятия пробы, ч	ХПК, мг/л	Время взятия пробы, ч	ХПК, мг/л	ХПК, мг/л	ХПК, мг/л
I производственный цикл					
9.20	2700	13.20	8000	3600	3300
9.40	5300	13.40	4400	3700	4600
10.00	3200	14.00	2200	2400	2200
10.20	3600	14.20	4200	1900	800
10.40	4700	14.40	7800	2000	6600
11.00	4100	15.00	2200	2600	8600
11.20	4400	15.20	3100	2300	7600
11.40	3600	15.40	1800	2000	11500
12.00	3400	16.00	2400	3600	11300
12.20	2900	16.20	3600	4200	10600
12.40	3600	16.40	3100	5900	3300
13.00	4400	17.00	2100	4000	4400
Сред- нее зна- чение	3992		3742	3183	6233
II производственный цикл					
13.20	6800	17.20	2100	3700	1400
13.40	3800	17.40	2000	2600	1100
14.00	4100	18.00	2400	2800	2500
14.20	3600	18.20	3100	2600	13800
15.00	1700	19.00	3200	2500	12500
15.20	1400	19.20	3400	3100	—
15.40	2200	19.40	3500	4200	—
16.00	1600	20.00	4000	4000	—
16.20	2 200	20.20	5 100	3 700	—
16.40	2 400	20.40	4 800	3 000	—
17.00	2 100	21.00	6 200	3 300	—
Сред- нее значение	3350		3575	3208	—
Сред- нее значе- ние для двух циклов	3671		3658	3196	

видно из табл. 3.5, результаты контрольных анализов усредненных образцов, полученных сливанием проб, которые отбирали через 20-минутные интервалы в течение 24 ч, не совпадают со средними значениями определений в двух пробах, отбираемых каждые 20 мин в течение одного производственного цикла или одной 8-часовой смены.

За исключением результатов измерений, проведенных на 4-е сутки, когда не был закончен отбор проб во время II производственного цикла, для

Таблица 3.5

Показатель	1-е сут	2-е сут	3-и сут	4-е сут
БПК ₅ , мг/л	2 050	2 050	2 400	2 100
ХПК, мг/л	2 200	23 500	3 400	2 500
pH	9,6	—	6,5	—

щегося 4 ч, между средними значениями ХПК I и II циклов нет большой разницы. Правда, средние значения ХПК объединенных суточных образцов первых двух дней значительно ниже значений ХПК соответствующих производственных циклов I и II.

3.5.2. Устранение факторов, отрицательно влияющих на ход биологической очистки сточных вод. Сообщения работников завода о том, что очистная станция в несколько раз перегружена, подтвердились результатами контрольных анализов сточной воды производственного участка Р4 (см. табл. 3, 4 и 3.5.). Поэтому было рекомендовано подавать на очистные сооружения только часть сточных вод в количестве 6 л/с, позднее 9—12 л/с, а остальную часть стоков через главный сборник сбрасывать в реципиент. Чтобы контролировать количество поступающей воды, аэротенк-смеситель был переделан таким образом, чтобы подача сточной воды в отдельные коридоры осуществлялась с обеих сторон треугольными водосливами с острыми гранями около входа в аэротенк. На входах в коридоры подавался возвратный ил из вторичного отстойника.

При подаче в аэротенк сточных вод в количестве 6 л/с эффективность очистки в течение нескольких дней была удовлетворительной и часто превышала 90% по БПК₅, однако отличалась неустойчивостью и как по БПК₅, так и по ХПК нередко падала намного ниже ожидаемого значения. Анализы проб, отбиравшихся с 15-минутными интервалами в течение суток, показали, что концентрация органических загрязнений, выраженная по БПК₅, действительно в несколько раз выше предполагавшейся при проектировании. Вместе с тем оказалось, что значения pH сточной воды, поступающей на очистку в аэротенк, колеблются в очень большом диапазоне и иногда бывают ниже 4. В связи с этим был сделан вывод, что на очистные сооружения в определенные интервалы времени, которые могут длиться более 1 ч, поступает сточная вода с еще более низким значением pH. Поэтому ни высокая степень рециркуляции (до 300% поступающей на очистку сточной воды), ни буферная емкость активного ила не могут изменить pH до такого значения, которое было бы безвредным для микроорганизмов активного ила и не влияло бы на эффективность биологической очистки. В связи с этим на мерном желобе, по которому сточная вода подается в аэротенк, установили pH-метр с непрерывной записью значений pH. Было решено также подавать сточную воду на очистные сооружения через уравнительный резервуар аварийных стоков, представляющий собой стандартный трехсекционный аэротенк ANP-Z полезным объемом 213 м³, снабженный встроением оборудованием для аэрации. Кроме того, в мерный желоб, из которого сточная вода поступает в отдельные коридоры, был вмонтирован аэратор из дырчатых труб, чтобы при малых расходах воды от 6 до 12 л/с в желобе не осаждались и не загнивали нерастворенные вещества.

Исходя из обещания руководства завода строго соблюдать технологический регламент производства, особенно на производственном участке Р4 по производству лизина, а также из того, что сточная вода должна идти на очистку через уравнительный резервуар аварийных стоков, было высказано предположение, что значения pH поступающей на очистку воды удастся поддерживать в пределах от 5 до 9.

Однако практика показала, что и эти меры оказались недостаточными для выравнивания экстремальных значений pH настолько, чтобы обеспечить необходимые пределы изменений pH поступающей в аэротенк сточной воды. В связи с этим на главном канализационном сборнике, из которого часть воды подается на очистную станцию, был установлен еще один регистрирующий pH-метр, снабженный световой и звуковой сигнализацией, настроенной на указанные предельные значения pH:

3.5.3. Испытание работы сооружений аэробной очистки при небольших нагрузках. Оценка работы очистной станции проводилась в разные периоды, в течение которых приблизительно соблюдались требуемые количественные и качественные параметры (прежде всего, значения pH) сточной воды, поступающей на очистку.

В течение 42 сут на очистные сооружения поступало постоянное количество сточных вод — 6 л/с. За этот период было проведено 20 более или менее полных анализов. Первые 21 сут. значения pH сточной воды изменялись от 6,2 до 8,5 и преимущественно составляли около 6,5. В следующие сутки и до конца периода значение pH сточной воды удерживалось в кислой области около 5,0, хотя при отдельных замерах были зафиксированы значения $\text{pH}=3,8$ и 4,0. Количество нерастворенных веществ, поступавших со сточной водой на очистную станцию, изменилось от 15 до 690 мг/л и в среднем составляло 256 мг/л. Значения БПК₅ значительно колебались в пределах от 1 200 до 3 500 мг/л при среднем значении 1 883 мг/л, ХПК — от 1 700 до 6 600 мг/л при среднем значении 3 130 мг/л.

В течение всего периода испытаний в аэротенк подавалось постоянное количество воздуха — 4 000 м³/ч, что обеспечивало достаточно высокую концентрацию растворенного кислорода (как правило, более 2 мг/л) в отдельных коридорах. При постоянной теоретической продолжительности пребывания сточной воды в аэротенке, равной 3,28 сут, изменения нагрузки на единицу объема как по БПК₅, так и по ХПК определялись качеством сточной воды. Минимальная нагрузка на единицу объема по БПК₅ составляла 366 г/(м³·сут), максимальная — 1067 г/(м³·сут). По ХПК минимальная нагрузка была равна 518 г/(м³·сут), максимальная — 2013 г/(м³·сут). Средняя нагрузка на аэротенк за все время проведения эксперимента по БПК₅ составляла 574 г/(м³·сут), а по ХПК — 955 г/(м³·сут). Объем ила, измерявшийся после получасового осаждения в воронке Имгоффа, в течение всего эксперимента составлял от 400 до 500 мл/л и лишь в последние дни увеличился до 600 мл/л. В связи с тем, что содержание нерастворенных веществ в аэротенке измерялось только в последние 8 сут этого этапа (5 анализов), приводить значения средней нагрузки на ил и ее изменения нецелесообразно.

В описанных условиях эффективность биологической очистки была удовлетворительной и колебалась от 70 до 97,7%, составляя в среднем 87,6% по БПК₅ и 73,5% по ХПК. Минимальное значение эффективности по ХПК было 38,9%, максимальное — 91,1%.

Количество нерастворенных веществ, уносимых очищенной водой, колебалось от 12 до 140 мг/л, а pH воды — от 5,5 до 8,6. Следует подчеркнуть, что изменения значений pH на несколько десятых в течение каждого дня почти регулярны.

Изменения pH следует считать главным фактором, влияющим на ход биологической очистки и нарушающим его. В тех случаях, когда на очистку поступала вода, значение pH которой резко изменялось на несколько единиц, и новое значение удерживалось достаточно длительное время, pH очищенной воды резко изменялось в сторону кислой или щелочной области на 1,5, иногда и больше. При этом естественные процессы нейтрализации, происходящие в песколовке, мерном желобе и флотаторе, а также применение буферной емкости активного и возвратного активного ила оказывались недостаточными для выравнивания значений pH.

Минимальные, максимальные и средние значения показателей, характеризующих как сточную воду, поступающую на очистку, так и процесс аэрации и очищенную воду за рассматриваемый период, приведены в табл.3.6.

Таблица 3.6

Показатели	Значения		
	минимальное	максимальное	среднее
<i>Сточная вода, поступающая на очистку</i>			
Приток сточной воды на очистные сооружения:			
л/с	6	6	6
м ³ /сут	518,4	518,4	518,4
pH	3,8	8,5	—
Нерастворенные вещества (16 определений), мг/л	15	690	256
БПК ₅ , мг/л	1 200	3 500	1 883
ХПК, мг/л	1 700	6 600	3 130
<i>Аэробная очистка</i>			
Количество барботированного воздуха, м ³ /ч	4 000	10 500	—
Теоретическое время пребывания сточной воды в аэротенке, сут	3,28	3,28	3,28
Количество растворенного кислорода, мг/л	0,4	7,2	—
Объем ила в воронке Имгоффа, мл/ (п.0,5 ч)	400	600	—
Концентрация ила (5 определений), мг/л	4 480	7 200	—
Иловый индекс, мл/г	71	134	—
Объемная нагрузка по БПК ₅ , г/ (м ³ ·сут)	366	1 067	574
Объемная нагрузка по ХПК, г/ (м ³ ·сут)	513	2 013	955
<i>Очищенная вода (после вторичного отстойника)</i>			
pH	5,5	8,6	—
Нерастворенные вещества (16 определений), мг/л	12	140	67
БПК ₅ , мг/л	50	470	219
ХПК, мг/л	340	1 200	707
Эффективность очистки по БПК ₅ , %	70,0	97,7	87,6
То же, по ХПК, %	38,9	91,1	73,5

Эффективность очистки сточных вод довольно высока как по БПК₅, так и по ХПК. Однако колебания эффективности, вызываемые резкими и длительными изменениями pH сточной воды, поступающей на очистку, недопустимы с точки зрения технологического режима: резкие колебания pH отрицательно сказываются на живых организмах активного ила и иногда приводят к их гибели. Наступает распад хлопьев активного ила, и их не удается удержать в системе даже повышенной рециркуляцией.

3.5.4. Очистка сточной воды в аэротенке с низкой нагрузкой. Серия экспериментов с низкой нагрузкой аэротенка продолжалась 173 дня. Все результаты отдельных определений и вычисленных технологических параметров приведены в табл. 3.7—3.12, каждая из которых характеризует отдельный период наблюдений.

Чтобы получить хорошо стабилизированный ил при его минимальном приросте, рекомендуется удерживать нагрузку на ил по БПК₅ в пределах от 0,05 до 0,1 кг/ (кг · сут), иногда и ниже. В этих условиях на присутствующий биоценоз приходится так мало субстрата, что ил постепенно отмирает и разлагается. Если в сток после вторичного отстойника не попадает заметное количество ила, очищенная вода имеет очень низкие значения БПК и ХПК, а система в целом отличается высокой и устойчивой эффективностью очистки. В связи с этим важно знать седиментационные свойства активного ила и пра-

Таблица 3.7

Показатели	Число опреде- лений	Значение		
		мини- мальное	макси- мальное	среднее
Сточная вода, поступающая на очистку				
Приток сточной воды на очистные сооруже- ния, м ³ /сут	19	943	1037	1022
pH	10	6,5	10,2	—
БПК, г/м ³	10	1200	2400	1840
ХПК, г/м ³	10	2600	4100	3230
Нерастворенные вещества (Синпор 1), г/м ³	10	115	960	323
Аэробная очистка				
Количество барботированного возду- ха, м ³ /ч	19	8000	8000	8000
Концентрация растворенного кисло- рода, г/м ³ :				
начальная	15	0	1,1	—
конечная	15	0	3,9	—
Нерастворенные вещества (активный ил), г/м ³	14	4045	9050	6848
Объемная нагрузка, г/(м ² · сут) :				
по БПК	10	730	1460	1106
по ХПК	10	1582	2495	1939
Объем ила в мерном цилиндре, мл/(л · 0,5 ч)	14	550	980	—
Иловый индекс, мл/г	14	99	153	—
Нагрузка на ил, г/(кг · сут) :				
по БПК	10	89	245	163
по ХПК	10	180	458	283
Очищенная вода (после вторичного отстойника)				
pH	10	7,1	8,3	—
Нерастворенные вещества (Синпор 1), г/м ³	10	10	36	19
БПК, г/м ³	10	30	350	90
ХПК, г/м ³	10	140	1000	447
Эффективность очистки, %:				
по БПК	10	85,4	98,4	95,5
по ХПК	10	61,6	92,6	85,6

Примечания: 1. Длительность эксперимента — 19 сут. 2. Синпор — моющее поверхностно-активное вещество.

Таблица 3.8

Показатели	Число определений	Значение		
		минимальное	максимальное	среднее
Сточная вода, поступающая на очистку				
Приток сточной воды на очистные сооружения, м ³ /сут	18	542	778	732
pH	6	6,4	8,0	—
БПК, г/м ³	6	1000	2300	1617

Показатели	Число определений	Значение		
		минимальное	максимальное	среднее
ХПК, г/м ³	6	2000	4400	2850
Нерастворенные вещества (Синпор 1), г/м ³	6	194	402	273

Аэробная очистка

Количество барботированного воздуха, м ³ /ч	18	8000	8000	8000
Концентрация растворенного кислорода в аэротенке, г/м ³ :				
на входе	10	0	0,4	—
на выходе	10	0,4	2,1	—
Объемная нагрузка, г/(м ³ · сут):				
по БПК	6	456	973	716
по ХПК	6	910	1865	1264
Нерастворенные вещества (активный ил), г/м ³	10	4 710	11 750	7 582
Нагрузка на ил, г/(кг · сут):				
по БПК	6	54	115	96
по ХПК	6	126	208	170
Объем ила в мерном цилиндре, мл/(л · 0,5 ч)	10	750	980	—
Иловый индекс, мл/г	10	83	159	—

Очищенная вода (после вторичного отстойника)

рН	6	7,0	7,8	—
Нерастворенные вещества (Синпор 1), г/м ³	6	10	30	18
БПК, г/м ³	6	30	70	47
ХПК, г/м ³	6	120	600	292
Эффективность очистки, %:				
по БПК	6	96,7	97,5	97,1
по ХПК	6	75,0	95,6	89,3

Примечание. Длительность эксперимента — 18 сут.

Таблица 3.9

Показатели	Число определений	Значение		
		минимальное	максимальное	среднее
Сточная вода, поступающая на очистку				
Приток сточной воды на очистные сооружения, м ³ /ч	27	591	778	722
pH	27	5,4	7,3	—
БПК, г/м ³	12	1 100	3 200	1 983
ХПК, г/м ³	12	1 800	6 500	3 642
Нерастворенные вещества (Синпор 1), г/м ³	12	102	395	235

Показатели	Число опреде- лений	Значение		среднее
		мини- мальное	макси- мальное	
Аэробная очистка				
Количество барботированного воздуха, м ³ /ч	27	8 000	10 000	9 481
Концентрация растворенного кислоро- да в аэротенке, г/м ³ :				
на входе	18	—	—	—
на выходе	18	0	0,6	—
Объемная нагрузка, г/ (м ³ · сут) :				
по БПК	12	496	1 440	874
по ХПК	12	782	2 717	1 606
Нерастворенные вещества (активный ил) , г/м ³	19	9510	14 700	12 499
Нагрузка на ил, г/ (кг · сут) :				
по БПК	12	39	103	71
по ХПК	12	59	204	131
Объем ила в мерном цилиндре, мл/ (л · 0,5 ч)	20	970	1000	—
Иловый индекс, мл/г	10	67	102	—

Очищенная вода (после вторичного отстойника)

pH	27	6,8	7,4	—
Нерастворенные вещества (Синпор 1), г/м ³	12	15	80	38
БПК, г/м ³	12	10	75	39
ХПК, г/м ³	12	150	400	246
Эффективность очистки, %:				
по БПК	12	94,6	99,3	97,9
по ХПК	12	89,7	96,6	92,8

П р и м е ч а н и е. Длительность эксперимента — 27 сут.

Таблица 3.10

Показатели	Число опреде- лений	Значение		
		мини- мальное	макси- мальное	среднее
Сточная вода, поступающая на очистку				
Приток сточной воды на очистные сооруже- ния, м ³ /ч	55	479	648	619
pH	55	5,1	9,1	—
БПК, г/м ³	18	500	3 800	1 875
ХПК, г/м ³	20	1 800	5 700	3 195
Нерастворенные вещества (Синпор 1), г/м ³	20	100	300	192
Потери при прокаливании нераство- ренных веществ, %	8	65,5	87,9	79,6

Показатели	Число опреде- лений	Значение		
		мини- мальное	макси- мальное	среднее
Аэробная очистка				
Количество барботируемого воздуха, м ³ /ч	55	10 000	10 000	10 000
Концентрация растворенного кислоро- да в аэротенке, г/м ³ :				
на входе	35	0	0,5	—
на выходе	35	0	3,0	—
Объемная нагрузка, г/ (м ³ ·сут) :				
по БПК	18	170	1 349	670
по ХПК	20	590	2 085	1 146
Нерастворенные вещества (активный ил), г/м ³	33	11 870	15 590	13 041
Потери при прокаливании нераство- ренных веществ, %	8	90,5	92,2	91,3
Нагрузка на ил, г/(кг · сут) :				
по БПК	18	14	104	50
по ХПК	20	47	168	86
Объем ила в мерном цилиндре, мл/ (л · 0,5 ч)	43	980	1 000	—
Иловый индекс, мл/г	33	64	84	—

Очищенная вода (после вторичного отстаивания)

pH	51	6,3	7,5	—
Нерастворенные вещества (Синпор 1), г/м ³	35	30	1 570	121
Потери при прокаливании нераство- ренных веществ, %	10	37,7	87,2	66,1
БПК, г/м ³	18	10	125	57
ХПК, г/м ³	20	180	600	407
Эффективность очистки, %:				
по БПК	18	91,4	98,5	96,6
по ХПК	20	67,8	94,9	88,6

Пр и м е ч а н и е. Длительность эксперимента — 55 сут.

Т а б л и ц а 3.11

Показатели	Число опреде- лений	Значение		
		мини- мальное	макси- мальное	среднее
Сточная вода, поступающая на очистку				
Приток сточной воды на очистные сооруже- ния, м ³ /ч	16	405	648	610
pH	14	6,7	8,2	—
БПК, г/м ³	4	800	1 400	1 025
ХПК, г/м ³	5	1 300	2 500	1 980
Нерастворенные вещества (Синпор 1), г/м ³	6	180	710	454
Потери при прокаливании нераство- ренных веществ, %	6	77,8	88,7	85,0

Показатели	Число опреде- лений	Значение		
		мини- мальное	макси- мальное	среднее
Аэробная очистка				
Количество барботируемого возду- ха, м ³ /ч	16	12 000	12 000	12 000
Концентрация растворенного кислоро- да в аэротенке, г/м ³ :				
на входе	8	0	0	—
на выходе	8	0	6,0	—
Объемная нагрузка, г/ (м ³ · сут) :				
по БПК	4	304	533	390
по ХПК	4	685	951	818
Нерастворенные вещества (активный ил), г/м ³	11	4 630	14 500	8 925
Нагрузка на ил, г/ (кг · сут) :				
по БПК	4	40	68	52
по ХПК	4	72	161	122
Объем ила в мерном цилиндре, мл/ (л · 0,5 ч)	16	370	1 000	—
Иловый индекс, мг/л	11	69	141	—

Очищенная вода (после вторичного отстойника)

рН	14	5,8	7,4	—
Нерастворенные вещества (Синпор 1), г/м ³	14	47	500	142
Потери при прокаливании нерастворенных веществ, %	14	60	88,9	71,4
БПК, г/м ³	4	46	80	67
ХПК, г/м ³	8	200	800	400
Эффективность очистки, %:				
по БПК	4	90,6	95,8	93,2
по ХПК	5	80,0	84,6	83,5

Примечание. Длительность эксперимента — 16 сут.

Таблица 3.12

Показатели	Число определений	Значение		
		минимальное	максимальное	среднее
<i>Сточная вода, поступающая на очистку</i>				
Приток сточной воды на очистные сооружения, м ³ /сут	38	479	648	614
pH	38	5,5	7,8	—
БПК, г/м ³	19	800	2 100	1 229
ХПК, г/м ³	22	1 700	3 800	2 323
Нерастворенные вещества (Синпор 1), г/м ³	24	135	521	285
Потери при прокаливании нерастворенных веществ, %	24	62,8	85,7	77,7

Показатели	Число опреде- лений	Значение		
		мини- мальное	макси- мальное	среднее

Аэробная очистка

Количество барботируемого воздуха, м ³ /ч	38	12 000	12 000	12 000
Концентрация растворенного кислоро- да в аэротенке, г/м ³ :				
на входе	25	0	5,4	—
на выходе	25	0,2	6,0	—
Объемная нагрузка, г/(м ³ · сут):				
по БПК	19	300	752	445
по ХПК	22	600	1 360	829
Нерастворенные вещества (активный ил), г/м ³	28	2 620	6 660	5 191
Потери при прокаливании нераство- ренных веществ, %	10	85,5	91,6	90,4
Нагрузка на ил, г/(кг · сут):				
по БПК	18	63	204	93
по ХПК	21	110	250	168
Объем ила в мерном цилиндре, мл/(л · 0,5 ч)	38	310	730	—
Иловый индекс, мл/г	28	66	129	—

Очищенная вода (после вторичного отстойника)

pH	37	6,2	7,2	—
Нерастворенные вещества (Синпор 1), г/м ³	38	26	316	102
Потери при прокаливании нераство- ренных веществ, %	38	65,5	89,0	75,5
БПК, г/м ³	19	40	90	62
ХПК, г/м ³	26	260	1 100	562
Эффективность очистки, %:				
по БПК	19	89,5	97,0	94,6
по ХПК	22	47,6	86,8	73,5

Примечание. Длительность эксперимента — 38 сут.

вильно рассчитать размеры вторичного отстойника. Для очистки городских сточных вод эта система рекомендуется без использования первичного отстойника.

В экспериментах по аэрированию с низкой нагрузкой изменяли технологический режим таким образом, что в различные периоды на очистку подавали различное количество сточных вод, а избыточный ил либо периодически полностью удаляли, либо не удаляли вообще до того момента, когда его уровень во вторичном отстойнике достигал сливного гребня.

Сточные воды проходили через уравнильный резервуар аварийных стоков, аэрируемый через дырчатые трубы и представляющий собой стандартный аэротенк ANP-Z с проточной поверхностью 23,9 м², полезным объемом 213,05 м³ и глубиной 3,6 м. Из этого резервуара сточная вода через мерный желоб по подводящему желобу подавалась в горловину шести коридоров аэротенка, полезный объем которого составлял 1704 м³, площадь поверхности жидкости 358 м², глубина 3,6 м и площадь поперечного сечения 71,7 м². Как и у резервуара ANP-Z, воздух для аэрирования подавался в аэротенк дырчатыми трубами с диаметром отверстий 5 мм.

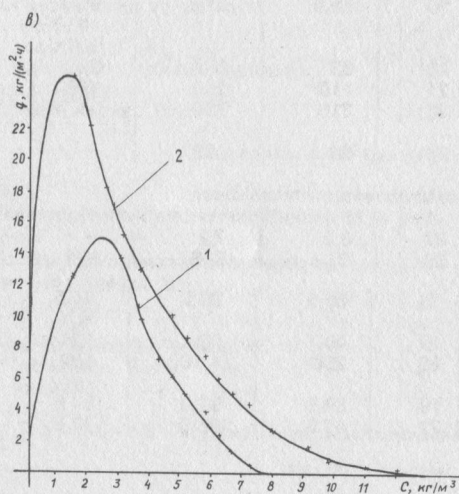
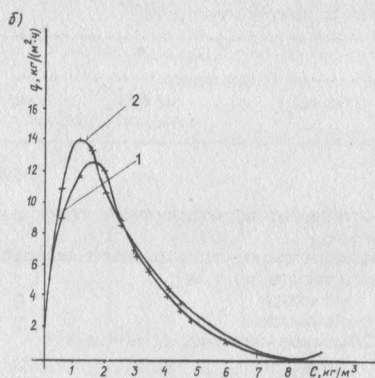
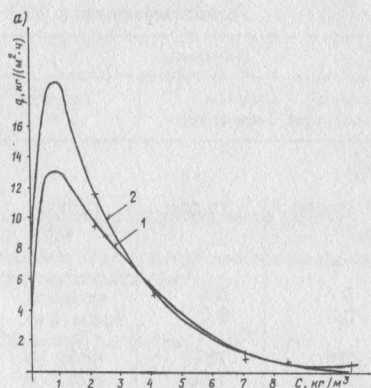


Рис. 3.1. Зависимость плотности потока вещества от концентрации взвешенных веществ

1 — изменение скорости осаждения в мерном цилиндре высотой $H = 0,4$ м и диаметром $D = 0,061$ м; 2 — изменение скорости осаждения в мерном цилиндре высотой $H = 1,0$ м и диаметром $D = 0,106$ м

Оценка экспериментов по очистке в аэротенке с низкой нагрузкой. Из данных табл. 3.7—3.10 следует, что без удаления ила при рециркуляционном отношении от 2,54 до 4,19, концентрации загрязнений сточной воды, поступающей на очистку, от 1 617 до 1 983 г/м³ по БПК₅ и нагрузке по воде от 0,364 до 0,600 м³/(м³ · сут) можно добиться концентрации активного ила в аэротенке от 8 до 12 кг/м³. Это следует из кривых, представленных на рис. 3.1. При более высоких концентрациях ила площадь вторичного отстойника 160 м² не обеспечивает полноту его осаждения, в связи с чем с очищенной водой через водосливный гребень уносится повышенное количество нерастворимых веществ. Вследствие этого, во-первых, снижается концентрация ила в системе и, во-вторых, повышаются значения БПК и ХПК очищенной сточной воды. При этом основная доля БПК и ХПК приходится на нерастворимые вещества.

В последнем эксперименте после снижения концентрации ила в аэротенке до $2,62 \text{ кг/м}^3$ поднять его концентрацию выше $6,66 \text{ кг/м}^3$ не удалось даже при рециркуляционном отношении 4,22 (см. табл. 3.12). Это можно объяснить тем, что в течение 2 сут из производственного участка Рз было спущено в канализацию около 25 кг медного купороса, который в основном аккумуляровался в активном иле (теоретически на аэробную очистку поступило около 12 кг Cu^{2+}). В пробе активного ила, взятой в конце марта, концентрация меди составляла всего 66 мг/кг сухого остатка. Это указывает на то, что медь вызывала распад хлопьев и вымывалась из системы с тонкой взвесью, присутствовавшей в очищенной воде. Кроме того, нагрузка на рабочий объем аэротенка, составлявшая в этот период в среднем $445 \text{ г/(м}^3 \cdot \text{сут)}$ по БПК, была значительно ниже, чем во все предыдущие периоды, когда нагрузка колебалась от 1106 до $670 \text{ г/(м}^3 \cdot \text{сут)}$ (см. табл. 3.7—3.12).

Определенное влияние на качество активного ила оказывала концентрация растворенного кислорода в аэротенке, которая была значительно выше при концентрации ила 5 кг/м^3 , чем при концентрации его 13 кг/м^3 , причем количество барботируемого воздуха в обоих случаях было практически одинаковым.

Время от времени в аэротенке образовывался сравнительно высокий слой пены, что было связано со спуском дезинфицирующих моющих средств в процессе производства.

На процесс аэробной очистки с низкой нагрузкой оказывал влияние также уравнительный резервуар аварийных стоков, который использовался для смягчения резких колебаний pH и частичного выравнивания концентрации загрязнений в сточной воде, поступающей на очистку. Оказалось, что при меньшей скорости подачи сточной воды и выравненном значении pH, а также при условии, что количество барботируемого кислорода воздуха достаточно для поддержания аэробных условий, в резервуаре очень быстро образуется активный ил с комплексом микроорганизмов. Это было показано в результате проведения серии измерений скорости окисления органических веществ. Удельные скорости окисления — эндогенная, экзогенная и наблюдаемая — были очень высокие. Эндогенная скорость окисления во всех случаях была практически одинакова и достаточно высока. Это указывает на то, что даже после 4-часовой интенсивной аэрации не был израсходован весь внешний субстрат. С другой стороны, в 2,5 раза большие значения экзогенной скорости окисления свидетельствуют о способности активного ила с большой скоростью разлагать легко окисляющийся субстрат.

В табл. 3.13 и 3.14 приведены скорости окисления, измерявшиеся при проведении двух наиболее продолжительных экспериментов (см. табл. 3.11 и 3.12). Расход кислорода в уравнительном резервуаре составлял почти $100 \text{ кг O}_2/\text{ч}$ при средней концентрации активного ила 13 кг/м^3 , а в аэротенке при средней концентрации активного ила $5,2 \text{ кг/м}^3$ он был равен примерно $50 \text{ кг O}_2/\text{ч}$. Последнее значение может быть на 20% ниже при условии, что в аэротенк будет поступать сточная вода с более или менее постоянным значением БПК.

Результаты измерений концентрации растворенного кислорода в различных участках отдельных коридоров аэротенка показали, что обеспечить одинаковые условия для всех коридоров практически невозможно по следующим причинам:

поступающее количество сточной воды нельзя распределить одинаково по всем коридорам, особенно при низких объемных скоростях (менее 1 л/с в каждом коридоре);

Таблица 3.13

Показатели	День и час				
	1-й 18.00	2-й 15.15	3-й 15.30	4-й 8.25	5-й 11.00
Концентрация активного ила — нерастворимые вещества (НВ), кг/м ³	13,61	14,34	13,02	17,20	17,50
Потери при прокаливании не- растворимых веществ (ППНВ) :					
кг/м ³	12,61	13,02	11,94	16,02	—
%	92,6	90,8	91,7	93,1	—
Концентрация кислорода в мес- те взятия пробы, г/м ³	—	0,0	0,3	0,6	0,6
Скорость окисления, г/(м ³ · ч) :					
наблюдаемая	48	120	115	82	84
эндогенная	48	37	47	49	46
экзогенная	122	156	160	140	165
Удельная скорость окисления, отнесенная к НВ, г/(кг · ч) :					
наблюдаемая	3,5	8,4	8,8	4,8	6,2
эндогенная	3,5	2,6	3,6	2,8	3,4
экзогенная	9,0	10,9	12,3	8,1	12,2
Удельная скорость окисления, отнесенная к ППНВ, г/(кг · ч) :					
наблюдаемая	3,8	9,2	9,6	5,1	—
эндогенная	3,8	2,8	3,9	3,1	—
экзогенная	9,7	12,0	13,4	8,7	—
Сточная вода, поступающая на очистку:					
приток, м ³ /сут	603	648	648	637	637
БПК, г/м ³	—	2 800	2 200	2 000	2 000
ХПК, г/м ³	—	4 100	3 100	4 600	4 600
НВ (Синпор 1), г/м ³	—	186	138	276	276
Аэробная очистка:					
количество барботируемо- го воздуха, м ³ /ч	8 000	8 000	9 600	9 600	9 600
объемная нагрузка, г/(м ³ · сут) :					
по БПК	—	1 065	822	745	745
по ХПК	—	1 560	1 160	1 715	1 715
объем ила в мерном 1-лит- ровом цилиндре, мл/(л · 0,5 ч)	995	1 000	1 000	1 000	1 000
иловый индекс, мл/г, нагрузка на ил, г/(кг · сут) :	73	70	77	58	57
по БПК	—	74	63	43	43
по ХПК	—	109	89	100	98
Очищенная вода (после вто- ричного отстойника) :					
БПК, г/м ³	—	60	72	80	80
ХПК, г/м ³	—	260	310	600	600
НВ (Синпор 1), г/м ³	—	33	73	122	122
эффективность очистки, %					
по БПК	—	97,9	96,7	96,0	96,0
по ХПК	—	93,7	90,0	87,0	87,0

не удастся обеспечить точное распределение возвратного ила с помощью заслонок;

элементы диспергатора, т.е. дырчатые трубы, забиваются неравномерно, в связи с чем в отдельные участки аэротенка поступает разное количество воздуха.

Таблица 3.14

Показатели	День и час				
	1-й 14.30	2-й 7.00	3-й 17.00	4-й 7.45	5-й 15.00
Концентрация активного ила — нерастворимые вещества (НВ), кг/м ³	4,92	5,09	5,39	5,35	5,45
Потери при прокаливании не- растворимых веществ (ППНВ): кг/м ³	4,37	4,33	—	—	—
%	88,9	85,1	—	—	—
Концентрация кислорода в аэро- тенке, г/м ³	6,1	6,0	—	—	—
Скорость окисления, г/(м ³ · ч):					
наблюдаемая	22	24	35	36	29
эндогенная	22	24	24	25	28
экзогенная	65	85	81	88	98
Удельная скорость окисления, отнесенная к НВ, г/(кг · ч):					
наблюдаемая	4,5	4,7	6,5	6,8	5,3
эндогенная	4,5	4,7	4,5	4,7	5,1
экзогенная	13,2	16,7	15,1	16,5	18,0
Удельная скорость окисления, отнесенная к ППНВ, г/(кг · ч):					
наблюдаемая	5,0	5,5	—	—	—
эндогенная	5,0	5,5	—	—	—
экзогенная	14,9	19,6	—	—	—
Сточная вода, поступающая на очистку:					
приток, м ³ /сут	623	648	610	644	644
БПК ₅ , г/м ³	1 200	1 300	2 100	950	950
ХПК, г/м ³	2 500	2 100	3 800	2 500	2 500
НВ (Синпор 1), г/м ³	276	206	521	328	328
Аэробная очистка:					
количество барботируемого воздуха, м ³ /ч	9 600	9 600	9 600	9 600	9 600
объемная нагрузка, г/(м ³ · сут):					
по БПК ₅	438	494	752	359	359
по ХПК	914	799	1 360	945	945
объем ила в мерном 1-лит- ровом цилиндре, мл/(л · 0,5 ч)	98	106	130	121	119
нагрузка на ил, г/(кг · сут):					
по БПК ₅	89	97	140	67	66
по ХПК	186	157	252	177	173
Очищенная вода (после вто- ричного отстойника):					
БПК ₅ , г/м ³	60	—	58	34	34
ХПК, г/м ³	640	580	650	—	—
НВ (Синпор 1), г/м ³	94	154	144	148	148
эффективность очистки, %					
по БПК ₅	95,0	—	97,2	96,4	96,4
по ХПК	74,4	72,4	82,9	—	—

Одновременно было показано, что концентрация растворенного кислорода, как и следовало ожидать, повышается в направлении от горловины к концам коридоров. Таким образом, в аэротенке образуется концентрационный градиент кислорода, особенно при малых объемных скоростях. Рекомендовано увеличить интенсивность барботирования воздуха в первой трети кори-

доров за счет перекрывания части элементов барботера в двух последних третях коридоров.

Установлено, что аэробная система очистки при низкой нагрузке может функционировать с высокой эффективностью, в среднем 96,6% по БПК и 88,6% по ХПК, даже при концентрации растворенного кислорода в аэротенке, близкой к нулю, и при средней концентрации ила в уравнительном резервуаре, равной 13 кг/м³. Остаточное загрязнение, выраженное через БПК и ХПК (в среднем соответственно 57 и 407 г/м³), в основном представлено твердой фазой, которую даже при условии повышенной рециркуляции не удается удержать в системе. Эти результаты получены при средней нагрузке на аэротенк 670 г/(м³ · сут) по БПК₅. Активный ил обладал хорошими седиментационными свойствами. Значения илового индекса колебались от 64 до 84 мл/г. Расход кислорода при таком варианте аэробной очистки составлял 70 кг/ч.

3.5.5. Аэробная очистка в аэротенке с высокой нагрузкой. Сточная вода, поступающая на очистные сооружения завода, содержит большое количество органических загрязнений в виде коллоидного раствора и суспензии. Сиддики и др. [54] показали, что сорбцией удаляются преимущественно коллоидные и взвешенные вещества, в то время как низкомолекулярные растворенные вещества удаляются энзиматическим путем. С этой точки зрения для очистки сточных вод завода представляется целесообразным вариант аэробной очистки с раздельной регенерацией ила, если не рассматривать двухступенчатую аэробную очистку. Обычно рекомендуется использовать аэробную очистку с регенерацией ила при нагрузках на активный ил 0,4–0,6 кг/(кг · сут) по БПК₅. В работе [54] авторы обращают внимание на то, что у определенной части смешанной культуры, способной адаптироваться к энзимам, падает активность при отсутствии внешнего субстрата. Для предупреждения слишком большого падения активности смешанной культуры продолжительность регенерации должна быть достаточно короткой, но вместе с тем обеспечивать хорошее осаждение ила, т.е. низкие значения илового индекса.

При проведении аэробной очистки, особенно аэробной очистки с высокой нагрузкой, необходимо следить за тем, чтобы было обеспечено поступление достаточного количества кислорода. В противном случае, если анаэробные условия в аэротенке сохраняются более 15 мин [40], меняющийся кислородный режим провоцирует развитие факультативных анаэробов и подавляет развитие облигатных аэробов в активном иле. Часто при этом наступает вспухание ила, что происходит также при перегрузке аэротенка. Эту перегрузку, при которой образуется практически неосаждающийся нитчатый ил, можно определить только экспериментальным путем для данной сточной воды при требуемой степени очистки. Определение предельно допустимой нагрузки требует длительного времени, так как биоценоз активного ила, формирующийся при определенной нагрузке, после изменения последней изменяется достаточно медленно.

Если твердая фаза плохо отделяется от жидкой, продолжительность отстаивания ила во вторичном отстойнике увеличивается, полностью расходуются остатки кислорода и заведомо ухудшаются свойства активного ила.

Далее следует обратить внимание на то, что активный ил с очень высокой удельной скоростью окисления потребляет во вторичном отстойнике присутствующий там растворенный кислород раньше, чем попадает в регенератор. В связи с этим во вторичном отстойнике возникают анаэробные условия со всеми вытекающими отсюда отрицательными последствиями. Поэтому при проведении одноступенчатой аэробной очистки нагрузку следует лимитировать именно с учетом работы вторичного отстойника.

В связи с изложенными выше соображениями для очистки концентрированных сточных вод Базякина [40] предлагает использовать аэротенки-смесители с регенерацией активного ила. При условии хорошего перемешивания смеси процессы распада органического загрязнения протекают с одинаковой скоростью по всему объему аэротенка-смесителя. При этом необходимо поддерживать такую интенсивность аэрации, которая обеспечивала бы все время и во всех точках аэротенка необходимое минимальное количество растворенного кислорода.

Концентрация ила в регенераторе бывает примерно в 3—4 раза выше, чем в аэротенке. В связи с этим должна быть обеспечена в 3—4 раза большая интенсивность барботирования воздуха. В противном случае свойства активного ила ухудшаются, и регенерация может сказаться отрицательно на всем технологическом процессе очистки. По этим и другим причинам для обезвреживания концентрированных сточных вод более рационально использовать двухступенчатую аэробную очистку, которая облегчает достижение высокой степени очистки.

Базякина [40] считает наиболее практичным такой вариант двухступенчатой очистки, при котором в первой ступени предусматривается неполная биологическая очистка в аэротенке-смесителе с регенерацией ила, а полная биологическая очистка происходит во второй ступени в аэротенке или на биофильтре.

Заградка и Эффенбергер [55] считают, что для обезвреживания стоков с высоким содержанием глицидов наиболее пригодна двухступенчатая аэробная очистка, которая по сравнению с одноступенчатым процессом обеспечивает более высокую и надежную очистку, дает более плотный избыточный ил и снимает ряд затруднений технологического характера, связанных с эксплуатацией станции очистки.

Отношение объема аэротенка первой ступени к объему аэротенка второй ступени должно быть достаточно мало. С учетом технологических и технико-экономических факторов соотношение этих объемов, равное 1:4, является оптимальным для всех типов сточных вод с повышенной концентрацией загрязнений, подвергающихся быстрому биохимическому распаду.

3.5.5.1. Обсуждение экспериментов по аэробной очистке с высокой нагрузкой. Опыты с аэробной очисткой при высокой нагрузке длились 91 сут. В связи с ограниченной производительностью компрессорной станции, максимальная мощность которой составляла 12 000 м³/ч, четыре из шести коридоров аэротенка были исключены из эксплуатации. Полезный объем двух рабочих коридоров составлял 568 м³. На очистку поступала сточная вода сначала без стоков от производства Л-лизина, однако последние 27 сут сточные воды включали стоки цеха лизина, т.е. представляли собой сточные воды всего завода.

Поскольку первые 12 сут избыточный ил из системы не удалялся, а в течение последующих 8 сут удалялся в разном количестве, приводить таблицы с результатами определений за этот период автор счел нецелесообразным. В течение последующих 45 сут аэробную очистку проводили с регулярным отбором постоянного количества избыточного ила из системы. Средний возраст ила составлял 3 сут. При этом была достигнута высокая эффективность очистки как по БПК, так и по ХПК (табл.3.15).

Степень использования кислорода воздуха активным илом, вычисленная на основании данных табл. 3.15 по методу Базякиной [40], в среднем составила 3,8%.

Согласно Вослоо [56] для проведения аэробной очистки с учетом отно-

Таблица 3.15

Показатели	Число определений	Значение		
		минимальное	максимальное	среднее
Сточная вода, поступающая на очистку				
Приток сточной воды, м ³ /сут	45	774	1 296	1 187
pH	45	5,8	7,9	—
Щелочность, мг-экв/л	29	3,2	9,9	—
БПК, г/м ³	29	500	2 200	1 028
ХПК, г/м ³	29	1 500	4 800	2 683
Нерастворимые вещества (НВ), г/м ³	29	150	940	358
Потери при прокаливании нерастворимых веществ (ППНВ), %	29	61,1	89,8	78,5
Аэробная очистка				
Количество барботируемого воздуха, м ³ /ч	45	8 000	11 500	11044
Концентрация кислорода в аэротенке на выходе, г/м ³	3	2,9	4,0	—
Объемная нагрузка, г/(м ³ ·сут):				
по БПК	29	1141	4710	2164
по ХПК	29	3170	10960	5645
НВ, г/м ³	28	3010	7120	5145
ППНВ, %	28	88,1	95,0	92,3
Нагрузка на ил, г/(кг·сут):				
по БПК	28	218	750	418
по ХПК	28	616	2 178	1 100
Объем ила в мерном цилиндре, мл/ (л· 0,5 ч)	45	270	940	—
Иловый индекс, мл/г	28	89	196	—
Очищенная вода (после вторичного отстойника)				
pH	45	6,8	8,7	—
Щелочность, мг-экв/л	45	2,3	12,2	—
НВ, г/м ³	45	2	608	63
ППНВ, %	45	65,4	94,4	80,0
БПК, г/м ³	27	15	70	28
ХПК, г/м ³	45	150	1 200	261
Эффективность очистки, %:				
по БПК	27	86,0	98,4	96,5
по ХПК	29	41,2	92,5	85,2

Примечание. Длительность эксперимента—45 сут.

шения максимальной скорости окисления к ее среднему значению при нагрузке на ил 418 г/(кг·сут) расход кислорода должен составлять 1,78 кг/кг удаляемой БПК. Для исследованного периода

$$m = k[Q(S_0 - S_2)/V] = 1,78[1187(1028 - 28)/568] = 3720 \text{ кг/сут} = 155 \text{ кг/ч},$$

где m — расход кислорода, кг/сут; k — коэффициент, значение которого зависит от нагрузки на ил, кг/Δ кг БПК₅; Q — приток сточной воды, м³/сут; S_0, S_2 — кон-

центрации загрязнений по БПК₅ соответственно исходной и очищенной сточной воды, г/м³; V — объем аэротенка, м³.

Когда на очистные сооружения стала поступать смесь сточных вод со всего завода, включая стоки производства L-лизина, концентрация загрязнений непропорционально возросла. Система аэробной очистки работала с такой перегрузкой, что показатели очистки за этот период и последующий, когда приток сточной воды был снижен (табл. 3.16 и 3.17), оказались очень низкими вследствие отрицательного влияния анаэробных условий.

Таблица 3.16

Показатели	Число определений	Значение		
		минимальное	максимальное	среднее
Сточная вода, поступающая на очистку				
Приток сточной воды, м ³ /сут	18	846	1 296	1097
pH	17	5,2	7,0	—
Щелочность, мг-экв/л	12	4,6	14,2	—
ХПК, г/м ³	13	3 500	7 500	5 546
БПК, г/м ³	13	1 600	2 800	2 308
НВ (Синпор 1), г/м ³	13	320	972	452
ППНВ, %	13	53,2	86,8	75,2
Аэробная очистка				
Количество барботируемого воздуха, м ³ /ч	18	11 500	12 000	11 917
Концентрация растворенного кислорода на выходе из аэротенка, г/м ³	5	0	1,2	—
Объемная нагрузка, г/ (м ³ ·сут) :				
по БПК	13	2 980	6 390	4 732
по ХПК	13	5 215	17 110	11 533
НВ, г/м ³	14	4 680	8 380	6 389
ППНВ, %	14	86,8	94,3	92,4
Нагрузка на ил, г/ (кг·сут) :				
по БПК	13	502	1 123	745
по ХПК	13	886	2303	1 773
Объем ила в мерном цилиндре, мл/ (л·0,5 ч)	18	280	990	—
Иловый индекс, мл/г	14	60	157	—
Очищенная сточная вода (после вторичного отстойника)				
pH	17	8,2	8,6	—
Щелочность, мг-экв/л	14	13,2	21,3	—
НВ (Синпор 1), г/м ³	17	38	114	69
ППНВ, %	17	78,7	90,2	85,5
БПК, г/м ³	13	300	900	525
ХПК, г/м ³	13	1 250	3 300	1 975
Эффективность, %:				
по БПК	13	63,9	88,2	77,2
по ХПК	13	47,6	77,3	64,4

Примечание. Длительность эксперимента — 18 сут.

Таблица 3.17

Показатели	Число определений	Значение		
		минимальное	максимальное	среднее
Сточная вода, поступающая на очистку				
Приток сточной воды, м ³ /сут	8	523	684	609
pH	6	5,5	6,9	—
Щелочность, мг-экв/л	6	5,5	9,9	—
БПК, г/м ³	5	1 900	2 500	2 200
ХПК, г/м ³	6	4 800	5 600	5 283
НВ (Синпор 1), г/м ³	6	1 340	2 050	1 637
ППНВ, %	6	86,4	89,8	88,9
Аэробная очистка				
Количество барботируемого воздуха, м ³ /ч	8	8 500	12 000	9 813
Концентрация растворенного кислорода на выходе из аэротенка, г/м ³	1	0,3	0,6	—
Объемная нагрузка, г/ (м ³ ·сут) :				
по БПК	5	1 893	3 010	2 349
по ХПК	6	4 790	6 740	5 704
НВ, г/м ³	6	3 500	4 940	4 153
ППНВ, %	6	90,7	94,9	92,9
Нагрузка на ил, г/ (кг·сут) :				
по БПК	5	450	810	577
по ХПК	6	1 140	1 813	1 389
Объем ила в мерном цилиндре, мл/ (л·0,5 ч)	8	260	410	—
Иловый индекс, мл/г	6	63	99	—
Очищенная сточная вода (после вторичного отстойника)				
pH	8	8,0	8,6	—
Щелочность, мг-экв/л	8	17,2	23,4	—
НВ (Синпор 5), г/м ³	8	336	700	526
ППНВ, %	8	84,3	88,2	87,0
БПК, г/м ³	5	200	450	334
ХПК, г/м ³	8	890	1 250	1 121
Эффективность, %:				
по БПК	5	80,4	90,0	85,1
по ХПК	6	76,0	82,2	79,8

Примечание. Длительность эксперимента — 8 сут (завод "Биотика").

Сам L-лизин не оказывает заметного влияния на скорость удаления органических загрязнений. Это было показано в работах Грэди и Гауди [57, 58], которые в непроточных моделях изучали влияние глюкозы, фруктозы и рибозы на скорость распада лизина при контакте с бактериальной культурой, выращенной из бытовых сточных вод. Эти авторы установили, что глюкоза и продукты ее метаболизма тормозят процесс распада лизина, однако активность образовавшихся энзимов практически не подавлялась. Фруктоза незначительно тормозит, а рибоза незначительно ускоряет синтез энзимов, разлагающих лизин.

В другой работе [59] на проточных моделях изучалось биохимическое разложение смеси глюкозы, фруктозы и рибозы с лизиновым субстратом при залповых нагрузках очистных систем. Во всех случаях глюкоза и фруктоза значительно подавляли синтез энзимов, разлагающих лизин. При этом снижалась энзиматическая активность клеток. В экспериментах с рибозой

вначале наблюдался рост энзиматической активности клеток, а затем, когда рибоза начала разлагаться, этот рост несколько подавлялся.

Из данных, приведенных в табл. 3.15, следует, что при аэробной очистке с высокой нагрузкой при возрасте ила, равном 3 сут, можно поддерживать рабочую концентрацию активного ила в среднем около $5,2 \text{ кг/м}^3$. При этом потери при прокаливании составляли 92,3%. БПК₅ очищенной воды была, как правило, ниже 25 г/м^3 , а ХПК — ниже 300 г/м^3 . Седиментационные свойства активного ила были несколько хуже, чем у ила, полученного в процессе аэробной очистки при низкой нагрузке: иловый индекс колебался в пределах от 89 до 196 мг/л .

Из сравнения результатов измерений, приведенных в табл. 3.9 и 3.15, следует, что при одном и том же объеме аэротенка при использовании аэробной очистки с высокой нагрузкой можно перерабатывать в 2,5 раза больше органических загрязнений, чем при очистке с низкой нагрузкой, при условии, что возраст ила при очистке с высокой нагрузкой составляет около 3 сут.

На предпоследнем этапе исследований средний возраст ила составлял 1,5 сут и колебался от 1 до 2 сут, поскольку количество нерастворимых веществ в очищенной воде колебалось в широком диапазоне из-за больших перегрузок, когда концентрация растворенного кислорода в аэротенке была в основном около нуля. В конце этого этапа определялась также скорость окисления (табл. 3.18).

Таблица 3.18

Показатели	День и час				
	1-й 8.00	2-й 8.30	3-й 6.45	4-й 7.00	5-й 7.30
Концентрация активного ила — нерастворенные вещества (НВ), кг/м^3	5,88	5,99	5,03	4,68	4,31
Потери при прокаливании нерастворенных веществ (ППНВ): кг/м^3	5,30	5,49	4,62	4,24	4,08
%	5,30	5,49	4,62	4,24	4,08
Концентрация O_2 , г/м^3	90,0	91,7	91,8	90,6	94,7
Скорость окисления, $\text{г/(м}^3 \cdot \text{ч)}$:	0	0	0,7	0,5	0,4
наблюдаемая	72	134	17	94	54
эндогенная	59	51	11,5	31	27
экзогенная	420	160	156	228	196
Удельная скорость окисления, отнесенная к НВ, $\text{г/(кг} \cdot \text{ч)}$:					
наблюдаемая	12,2	22,4	3,4	20,1	12,5
эндогенная	10,0	8,5	2,3	6,6	6,3
экзогенная	71,5	26,7	31,0	48,5	45,0
Удельная скорость окисления, отнесенная к ППНВ, $\text{г/(кг} \cdot \text{ч)}$:					
наблюдаемая	13,6	24,4	3,7	22,2	13,2
эндогенная	11,1	9,3	2,5	7,3	6,6
экзогенная	79,3	29,1	33,8	53,8	48,0
Сточная вода, поступающая на очистку:					
приток, $\text{м}^3/\text{сут}$	1 116	846	0	1 007	617
БПК, г/м^3	2 500	2 000	—	2 800	2 300
ХПК, г/м^3	5 500	3 500	—	4 700	5 400
НВ (Синпор 1), г/м^3	346	376	—	324	1 340
Аэробная очистка:					
количество барботируемого воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$	9 600	9 600	9 600	9 600	9 600

Показатели	День и час				
	1-й 8.00	2-й 8.30	3-й 6.45	4-й 7.00	5-й 7.30
объемная нагрузка, г/(м ³ · сут):					
по БПК	4 912	2 979	—	4 964	2 498
по ХПК	10 806	5 213	—	8 333	5 866
Объем ила в 1-литровом цилиндре, мл/(л · 0,5 ч)	485	400	350	280	270
Иловый индекс, мл/г	82	67	70	60	63
Нагрузка на ил, г/(кг · сут):					
по БПК ₅	835	497	—	1 061	580
по ХПК	1 838	870	—	1 781	1 361
<i>Очищенная вода после вторичного отстойника</i>					
БПК ₅ , г/м ³	480	460	—	330	410
ХПК, г/м ³	1 700	1 800	—	1 450	1 100
НВ (Синпор 1, 5-е сутки — Синпор 5), г/м ³	92	38	—	114	660
Эффективность очистки, %:					
по БПК ₅	80,8	81,6	—	88,2	82,2
по ХПК	69,1	48,6	—	69,2	79,6

При нагрузке на ил 745 г/(кг · сут) по БПК₅ и при максимальных притоке суточной воды и степени ее загрязненности Вослоо [56] рекомендует брать значение $k = 1,63$ кг/кг БПК₅. Таким образом, суммарное потребление кислорода, исходя из приведенных в табл. 3.16 параметров поступающей на очистку и очищенной сточной воды, должно составлять 234 кг/ч. В соответствии со значением экзогенной скорости окисления активного ила, определенным в первый день измерений (см. табл. 3.18), расход кислорода составлял 240 кг/ч, что хорошо совпадает с величиной, вычисленной по методу Вослоо [56].

Для обеспечения надежного хода аэробной очистки с постоянной нагрузкой на ил, равной примерно 0,42 кг/(кг · сут) по БПК₅, в аэротенк необходимо подавать 80 кг кислорода в 1 ч.

При проектировании вторичных отстойников необходимо исходить из кривых, приведенных на рис. 3.1. Кривая 1 потока частиц построена на основе результатов измерений скорости осаждения ила в мерных цилиндрах высотой 0,4 м и диаметром 0,061 м. При построении кривой 2 потока частиц использованы результаты измерений скорости осаждения ила в цилиндрах высотой 1 м и диаметром 0,106 м.

3.6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной главе показано, что сточные воды фармацевтических заводов можно очищать с высокой степенью эффективности посредством биологической аэробной очистки как с низкой, так и с высокой нагрузками. Условием эффективной и стабильной очистки является нейтрализация сточных вод, а с точки зрения энергетических затрат на аэрацию — усреднение их количества и качества.

В целом можно утверждать, что для очистки стоков фармацевтической

промышленности нельзя рекомендовать какой-то единый, универсальный способ очистки. Выбор способа очистки всегда зависит от местных условий и вида производства. Концентрированные и токсичные сточные воды целесообразно отделять уже на производстве и обезвреживать их отдельно либо сжиганием, либо каким-нибудь другим способом, или же добавлять эти стоки равномерно к общезаводским сточным водам. Смесь сточных вод практически всегда необходимо предварительно нейтрализовать и подвергнуть механической предварительной очистке.

Аэробные методы биологической очистки считаются наиболее эффективными и экономичными. Биологический способ очистки можно реализовать в различных вариантах. В настоящее время в развитии технологии очистки сточных вод фармацевтической промышленности прослеживается общая тенденция к использованию аэробной очистки в аэротенках. Биологические фильтры, тем не менее, могут найти применение в качестве второй ступени биологической очистки после аэротенка. Биофильтры с пластмассовой загрузкой можно также применять в качестве первой ступени биологической очистки с эффективностью от 50 до 60% по БПК₅. Эффективна также двухступенчатая аэробная очистка в аэротенках и двухступенчатая аэробная очистка с отдельной регенерацией активного ила. Очистные системы, работающие с меньшими нагрузками, проще в эксплуатации, так как в этих условиях образуется меньшее количество избыточного ила, а в аэротенках образуется меньшее количество устойчивой пены.

Значительные трудности возникают в связи с переработкой избыточного ила. Вспомогательные фильтрующие материалы ферментативного производства антибиотиков засоряют метантенки, из-за чего уменьшается их рабочий объем, забивают трубопроводы и ускоряют износ насосов, перекачивающих ил. К тем же осложнениям приводит повышенное содержание в иле неорганических веществ. Количество поддающихся биохимическому распаду веществ в иле сильно колеблется, в связи с чем может наступить перегрузка метантенка и нарушиться равновесие между аэробным и анаэробным процессами.

Большой интерес представляют разработанные недавно анаэробные биофильтры, на которых можно было бы снизить количество загрязнений сточных вод фармацевтических производств с тем, чтобы облегчить их последующую аэробную биологическую очистку. Анаэробная очистка привлекает меньшим расходом энергии и возможностью использования выделяющегося метана.

Список литературы

1. Pitte R. P. Chemické listy 65, 897 (1971).
2. Chromík J. Biochemická rozložitelnost některých látek vyskytujících se v odpadních vodách z výroby léčiv. Kandidátská dizertační práce. Praha, VŠCH 1979.
3. Mack K. 6th International Water Pollution Research. Paper No. 32, C/16/32/1 (1972).
4. Howe R.H.L., Paradis S.H. Wastes Engng. Sewage Industr. 27, 210–212 (1956).
5. Brys K. Vplyv antibiotik na mikroorganizmy čistiaceho zariadenia. Záverečná správa. Bratislava, VUVH, 1964.
6. Grünwald A., Melzer O. Sborník VŠCHT Praha, F 11, 157–161 (1967).
7. Petru A. VODA 35, 232–234 (1956).

8. Gallagher A. et al. *Sew. and Ind. Wastes* 26, 1355—1366 (1954).
9. Карюхина Т.А., Клейн С.А., Шангина Г.А. и др. Биологические методы очистки сточных вод химико-фармацевтических предприятий. — *Химико-фармацевтический журнал*, 1971, № 11, с. 30—35.
10. Mohanrao G.J. *JMPCF* 42, 1530—1543 (1970).
11. Johnson A.R. *Effluent Wat. Treatment J.* 4, 426—429 (1964).
12. Garbaccia A.J. *Water Waste Treatment* 18, 15 (1975).
13. Mann J. *Sewage and Ind. Wastes* 23, 1457 (1951).
14. Martin U. *Sewage and Ind. Wastes* 33, 345—349 (1961).
15. Colovos G.C. *Biotechn. and Bioeng.* 4, 153—160 (1962).
16. Dvořák M. *Vyzkumná zpráva VUV Praha* (1959).
17. Cervenka J. *Diplomová práce. Praha, VŠCHT* 1975.
18. Barker W.G. *Proc. 15th Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Ext. Ser.* 106, 58—67 (1960).
19. Molof A.H. *Biotechn. and Bioeng.* 4, 197—209 (1962).
20. Etzet J. *Proc. 18th Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Ext. Ser.* 115, 232 (1963).
21. Maděra V. et al. *Sbornik VŠCHT F* 15, 67—89 (1969).
22. Heukelekian S. *Ind. Eng. Chem.* 41, 1535—1539 (1949).
23. Tomkins L.B. *Sewage and Ind. Wastes* 29, 1161 (1957).
24. *Pharmaceutical Industry. Hazardous Waste Generation, Treatment and Disposal, EPA* 1976.
25. Muss R. *Sewage and Ind. Wastes* 23, 468 (1951).
26. Otto R. et al. *Biotechn. and Bioeng.* 4, 139—145 (1962).
27. Grünwald A. *Sbornik VŠCHT Praha, F* 11, 163—170 (1967).
28. Andersen D.R. *Water and Sewage Works* 118, 2—6 (1971).
29. Карпухин В.Ф., Балабанова Т.С. Очистка сточных вод производства некоторых антибиотиков. — *Химико-фармацевтический журнал*, 1972, № 11, с. 47—51.
30. Карпухин В.Ф., Дормидошина Т.А. Аэробная очистка сточных вод производства бензилпенициллина и стрептомицина. — *Химико-фармацевтический журнал*, 1974, № 4, с. 44—48.
31. Reimers F.E., Rinaca U.S., Poese L.E. *Sew. and Ind. Wastes* 26, 51—58 (1954).
32. Mckinney R.E. *Biotechn. and Bioeng.* 4, 181—196 (1962).
33. Howe R.H.L. *Biotechn. and Bioeng.* 4, 161—170 (1962).
34. Melzer O. *VTEI* с. 3, 77—95 (1967).
35. Glinicki Z et al. *Przem. chem.* 51, 176—180 (1972).
36. Oleszkiewicz J.A. *The 7th Int. Conf. on Water Poll. Research, London, Pergamon Press Ltd., 1974, 3 B (i), s. 10.*
37. Strachan J.L., Campbell W. *The 2nd International Congress on Industrial Waste Water and Wastes. Stockholm 1975, s. 208—224.*
38. Леонова Т.С., Карпухин В.Ф. Микробиологическая характеристика активного ила, очищающего сточные воды производства антибиотиков. — *Микробиология*, 1974, № 43, с. 138—140.
39. Maděra V. et al. *Sbornik VŠCHT Praha, F* 11, 147—156 (1967).
40. Базякина Н.А. Очистка концентрированных промышленных вод. М., Гостройиздат, 1958.
41. Роговская Ц.И. Биохимический метод очистки производственных сточных вод. Москва, 1967.
42. Dague R.R., Mckinney R.E., Pfeifer J.T. *J. Wat. Pollut. Control Fed.* 38, 220 (1966).

43. Schroepfer G.J. et al. Sewage Ind. Wastes 27, 460 (1955).
44. McCarthy P.L.: Public Works 95, 107 (1964).
45. Young J.C. Ph.D. Thesis, Dept. of Civil Engng. Stanford Univ. California (1968).
46. Lawrence A.W., McCarthy P.L. J. Water Poll. Control Fed. 41, R 2 (1969).
47. Young J.C., McCarthy P.L. Proc. 23rd Ind. Waste Conf., Purdue Univ, Ext. Ser. 134, 559 (1968).
48. Jannet J.C., Dennis H.D. JWPCF 47, 104–121 (1975).
49. Белевцев А.Н., Лурье Ю.Ю., Овчинникова И.В. Доочистка двуокисью хлора биохимически очищенных сточных вод производства антибиотиков. — В сб.: Очистка производственных сточных вод. Труды ВНИИ ВОДГЕО, 1973, № 5, с. 146–153.
50. Fiedler B. Kolokvium o výzkumu a realizaci čištění odpadních vod. Souhrny přednášek, Katedra technologie vody VŠCHT Praha 1976.
51. Gabaccia A.J. Sew. Ind. Wastes 31, 1175–1180 (1959).
52. Wittman J. Pharmazeutische Industrie 14, 158 (1952).
53. Purice V. Rev. Chim 16, 84–88 (1965).
54. Siddiqi R.H., Engelbrecht R.S., Speece R.E. Proc. 3rd Int. Conf. on Water Poll. Research., Pap. No 11/15, Munich (1966).
55. Zahradka V., Effenberger M. Závěrečná zpráva VUV Praha (1965).
56. Vosloo B.B. Water Poll. Control 72, 209–212, 214–215 (1973).
57. Grady C.P.L., Gaudy A.F., Gaudy E.T. Water Pollution Abstracts 43, No. 866 (1970).
58. Grady C.P.L., Gaudy A.F. Water Pollution Abstracts 43, No. 167 (1970).
59. Grady C.P.L., Gaudy A.F. Water Pollution Abstracts 43, No. 868 (1970).

4. ТЕОРИЯ АЭРОБНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ

4.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ

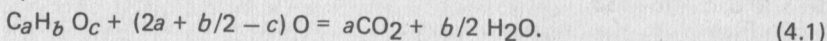
Как правило, сточные воды содержат пеструю смесь различных органических веществ. Качественный и количественный анализ индивидуальных соединений требует больших затрат труда и времени и поэтому обычно не проводится. Лишь в некоторых случаях определяют отдельные группы веществ, например фенолы, летучие жирные кислоты, анионоактивные детергенты и т.д. Поскольку группу родственных соединений обычно идентифицируют с помощью одного стандарта, такое определение называется групповым.

К групповым определениям относятся также методы определения суммарного количества всех органических соединений, основанные на измерении количества кислорода, расходуемого на их окисление. При использовании метода, основанного на химическом окислении, определяют химическую потребность в кислороде (ХПК). Метод, основанный на биохимическом окислении, позволяет вычислить биохимическую потребность в кислороде (БПК). Так как оба метода широко используются во всех странах мира, назрела необходимость в их международной стандартизации. Другим вариантом определения суммарного содержания всех органических веществ в воде является определение органического углерода (C_{org}). Совершенствование и распространение этого вида анализа зависят от развития методов аналити-

ческой химии. Обзор различных методов определения органических веществ в сточных водах содержится в книге Лейте [1].

4.1.1. Определение в виде ХПК. Для каждого органического соединения можно вычислить удельную теоретическую потребность в кислороде (ТПК), которая представляет собой количество кислорода в граммах, необходимое для полного окисления (согласно стехиометрическому соотношению) 1 г данного вещества. Удельная ТПК обычно зависит от элементного состава соединения и от предполагаемых продуктов окисления. Минимальное значение удельной ТПК, равное 0,178 г/г, имеет щавелевая кислота, максимальное (4 г/г) — метан.

Для каждого соединения общего состава $C_a H_b O_c$ можно написать уравнение реакции окисления:

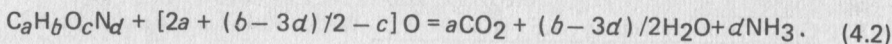


Значение удельной ТПК, г/г, вычисляется по формуле

$$ТПК = [(4a + b - 2c) 8] / M,$$

где M — молекулярная масса данного соединения.

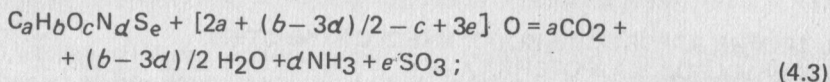
Если в молекуле вещества содержится азот, который в условиях окисления высвобождается в виде аммиака, уравнение реакции окисления принимает вид:



В этом случае значение удельной ТПК, г/г, равно

$$ТПК = [(4a + b - 2c - 3d) 8] / M.$$

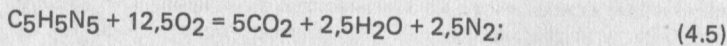
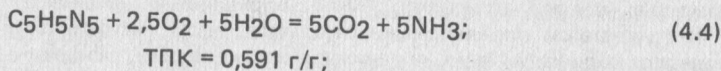
Если в молекуле вещества, помимо азота, присутствует сера, то уравнение реакции окисления имеет вид



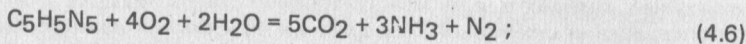
удельная ТПК, г/г, вычисляется по формуле:

$$ТПК = [(4a + b - 2c - 3d + 6e) 8] / M.$$

Очевидно, что значение удельной ТПК органических соединений, в молекуле которых помимо кислорода содержатся другие атомы, зависит от предполагаемых продуктов окисления. Так, например, для азотсодержащего соединения аденина (6-аминопурин) можно написать следующие варианты реакции окисления:



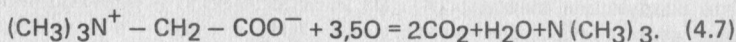
$$ТПК = 1,48 \text{ г/г};$$



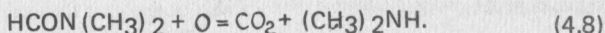
$$ТПК = 0,945 \text{ г/г}.$$

Как будет показано ниже, окисление аденина по бихроматной методике проходит в соответствии с уравнением (4.6).

Идеальным методом определения ХПК является такой метод, при котором все органические вещества окисляются на 100%, т.е. когда ХПК = ТПК. В настоящее время к такому методу ближе всего стандартный бихроматный метод, в условиях которого при использовании сульфата серебра в качестве катализатора большинство органических веществ окисляется на 90–100%. Однако некоторые азотистые основания, такие, как метиламины, этиламины, пиридин и его производные, окисляются настолько медленно, что после 2-часового кипячения, предусматриваемого методикой, они оказываются окисленными лишь частично. Примеры протекания реакций окисления некоторых азотсодержащих соединений представлены на рис. 4.1. Кинетику окисления можно описать уравнением реакции первого порядка [2]. Константы скорости реакций окисления этих соединений в 10–100 раз меньше, чем у соединений, легко подвергающихся окислению (табл. 4.1). Из сказанного следует, что соединения, в молекуле которых содержатся упомянутые выше группировки, будут окисляться не полностью. Так, например, бетаин окисляется согласно уравнению



Аналогичным образом и диметилформамид окисляется лишь частично:



Однако эти соединения, так же как метиламины и этиламины, очень хорошо окисляются перманганатом в щелочной среде [3].

Таблица 4.1

Соединение	Концентрация, мг/л	ТПК, мг/л	ХПК		K ₁
			мг/л	% ТПК	
Метиламин	340	525	19,4	3,7	$9,4 \times 10^{-3}$
Диметиламин	260	553	10,5	1,9	$2,0 \times 10^{-3}$
Триметиламин	206	502	26,0	5,2	$4,9 \times 10^{-3}$
Этиламин	229	488	176,0	36,1	$2,5 \times 10^{-1}$
Диэтиламин	211	555	153,0	27,6	$2,1 \times 10^{-1}$
Триэтиламин	204	580	217,0	37,4	$2,5 \times 10^{-1}$
Пропиламин	160	390	364,7	93,5	2,3*
Бутиламин	210	550	533,5	97,0	2,6*
Пиридин	244	540	23,8	4,4	$4,6 \times 10^{-3}$
2-метилпиридин	197	472	141,5	30,0	$0,7 \times 10^{-1}$
3-метилпиридин	204	490	136,0	27,8	$1,0 \times 10^{-1}$
4-метилпиридин	207	497	202,5	40,7	$1,9 \times 10^{-1}$
2,4-диметилпиридин	189	480	278,5	58,0	$2,3 \times 10^{-1}$
2,6-диметилпиридин	204	518	360,0	69,5	$3,7 \times 10^{-1}$
2,4,6-триметилпиридин	201	531	454,0	85,5	$4,3 \times 10^{-1}$
Никотиновая кислота	475	680	165,0	24,3	$1,2 \times 10^{-1}$

* Значение K₁ вычислено для первых 0,5 ч.

Из гетероциклических соединений плохо окисляются бихроматным методом только пиридин и его производные (см. табл. 4.1). Остальные гетероциклические соединения с одним атомом азота в молекуле, например хинолин, пиррол, пролин и индол, окисляются на 90–100%, причем азот осво-

ХПК, % ТПК

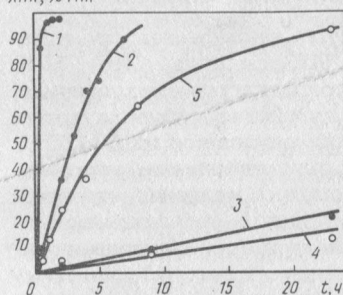


Рис.4.1. Ход окисления некоторых азотсодержащих органических соединений

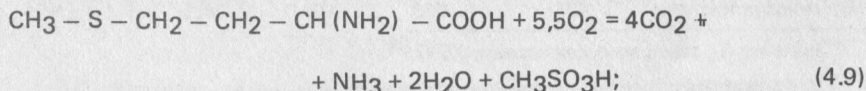
1 — бутиламин; 2 — этиламин; 3 — метиламин; 4 — пиридин; 5 — никотиновая кислота

бождается в виде NH_3 [4]. Гетероциклические соединения с двумя и более атомами азота в молекуле окисляются тоже очень хорошо. Однако при их окислении только часть азота отщепляется в виде NH_3 , а остальной азот освобождается в виде N_2 (табл. 4.2). Результаты определения содержания NH_3 в реакционной смеси после окисления этих соединений позволяют сделать следующие выводы [4]. Из имидазольного и пиримидинового кольца один атом азота отщепляется в виде NH_3 , второй — в виде N_2 . Из соединений группы пурина два атома азота освобождаются в виде NH_3 и два — в виде N_2 . Из веществ с изоаллоксазиновой группировкой отщепляются три атома в виде NH_3 и один в виде N_2 .

Таблица 4.2

Соединение	ТПК, г/г	Число атомов, освобождающихся в виде		ХПК	
		NH_3	N_2	г/г	% ТПК
Хинолин	2,478	1	0	2,310	93,5
Пиррол	2,149	1	0	1,940	90,6
Пролин	1,530	1	0	1,450	94,7
Индол	2,460	1	0	2,460	100,0
Триптофан	1,816	2	0	1,780	99,0
Имидазол	1,530	1	1	1,430	93,5
Гистидин	1,186	2	1	1,186	100,0
Аденин	0,945	3	2	0,864	91,5
Мочевая кислота	0,570	2	2	0,551	96,7
Урацил	0,927	1	1	0,900	97,0
Рибофлавин	1,430	3	1	1,430	100,0

Большая часть азотсодержащих веществ окисляется очень хорошо. Сера в условиях стандартного бихроматного окисления окисляется до SO_3 . Исключение составляет связь $-\text{S}-\text{CH}_3$, которая настолько прочна, что не разрушается, и при окислении образуется метилсульфокислота. Например, аминокислота метионин окисляется согласно уравнению



ТПК = 1,81 г/г; измеренное значение ХПК = 1,80 г/г.

В условиях стандартной бихроматной методики окисляются и некоторые неорганические соединения. Это прежде всего относится к хлоридам, кото-

рые могут исказить результаты определений двумя путями. С одной стороны, хлориды окисляются до элементарного хлора, что связано с расходом бихромата. С другой стороны, освобождающийся хлор в свою очередь окисляет и хлорирует органические соединения, присутствующие в реакционной смеси. Если при определениях не используется сульфат серебра в качестве катализатора, хлориды окисляются количественно, и на их присутствие можно ввести поправку (1 мг Cl^- соответствует 0,23 мг кислорода). Если при окислении в качестве катализатора применяется сульфат серебра, хлориды выпадают в осадок в виде AgCl . Однако часть ионов хлора в соответствии со значением произведения растворимости AgCl находится в растворе и окисляется. При этом нарушается равновесие $\text{AgCl} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + \text{Cl}^-$, в связи с чем часть AgCl растворяется, и в раствор переходят новые ионы хлора, которые снова окисляются. Таким образом, происходит постепенное окисление ионов хлора, и ввести однозначную поправку в определение не удастся. В течение 2 ч кипячения окисляется от 15 до 30% исходного количества присутствующих хлоридов. В связи с этим было предложено первые 30 мин кипятить образец без катализатора и только после окисления хлоридов добавлять сульфат серебра для окисления остатка органических соединений. Однако при применении такого способа нельзя исключить ошибки, вызванные хлорированием и окислением органических веществ хлором.

Исключить влияние хлоридов на ход определения можно добавлением сульфата ртути HgSO_4 [5], который связывает хлориды в форме очень слабо диссоциированного соединения HgCl_2 . В этом случае хлориды не окисляются. Эффективность данного приема зависит от отношения добавленной ртути к концентрации хлоридов, которое должно быть равно 10:1.

Другими неорганическими соединениями, которые очень быстро окисляются в кислой среде, являются нитриты, сульфиты, тиосульфаты, сульфиды и сульфоканиды. Если перечисленные вещества присутствуют в заметных концентрациях, на них необходимо делать поправку.

4.1.2. Определение в виде БПК. Биохимическая потребность в кислороде определяется как количество кислорода, использованное микроорганизмами для разложения органических веществ в аэробных условиях. Это количество кислорода пропорционально концентрации присутствующих органических соединений, подвергающихся биологическому распаду (рис. 4.2). Таким образом, БПК является мерой содержания только тех органических веществ, которые могут служить активным субстратом для микроорганизмов. Присутствие в пробе веществ, не подвергающихся биохимическому распаду, не отражается на определяемой величине БПК. Этим БПК отличается от ХПК, которая является количественной характеристикой присутствия всех органических соединений, независимо от того, подвергаются они биохимическому разложению или нет.

Процессы, происходящие при определении БПК, схематически изображены на рис. 4.3. Аэробные микроорганизмы используют органические вещества как источник энергии и источник углерода для синтеза запасных веществ и новых клеток. Показано, что экзогенный субстрат удаляется из раствора в течение первых 48 ч (рис. 4.4) таким образом, что часть его окисляется, а часть переводится на запасные вещества (полисахариды, липиды). В момент удаления экзогенного субстрата концентрация биомассы достигает максимального значения. При дальнейшем инкубировании кислород расходуется на окисление запасных веществ (эндогенное дыхание), их содержание в клетках при этом постепенно падает, и концентрация биомассы соответственно уменьшается.

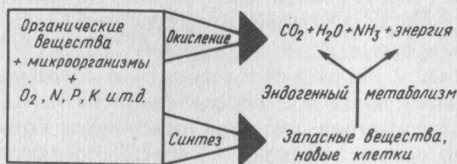
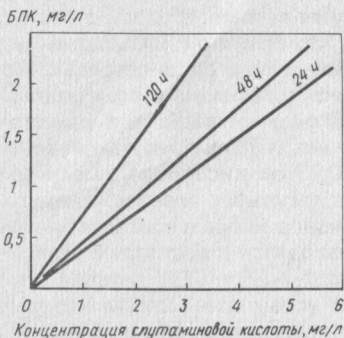


Рис. 4.3. Схематическое изображение процессов, происходящих при определении БПК

Рис. 4.2. Зависимость БПК от концентрации глутаминовой кислоты при различных сроках инкубирования [6]

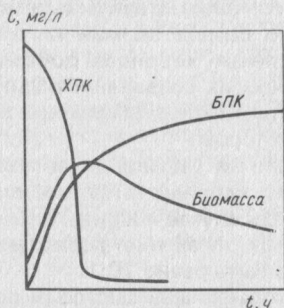


Рис. 4.4. Кинетика изменения БПК, удаления субстрата из раствора (в единицах ХПК) и роста биомассы

Окисление образовавшихся в клетках запасных веществ и белков при стандартном методе определения БПК продолжается 10–20 сут. Однако этот анализ занимает слишком много времени для того, чтобы его результаты могли иметь практическую ценность. Поэтому длительность определения сокращают, чаще всего до 5 сут. Пятисуточная инкубация была предложена в Англии в связи с тем, что этот период представляет собой максимально возможное время пребывания воды в английских реках до ее слияния с водой моря [7]. Из практических соображений это время не очень удобно, так как при пятидневной рабочей неделе нельзя начинать определения в понедельник и вторник. Поэтому, например, в Скандинавских странах измеряют значения БПК₇, что означает, что определения можно проводить каждый день, кроме субботы и воскресенья.

Ход биохимического потребления кислорода обычно описывается кинетическим уравнением первого порядка:

$$dy/dt = K_1(L-y), \quad (4.10)$$

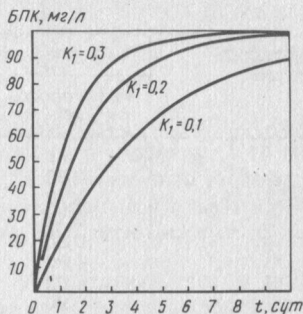
где y — БПК за время t ; L — БПК_{полн}; K_1 — константа скорости потребления кислорода.

Интегрируя уравнения (4.10) для начальных условий $t=0$ и $y=0$ и вводя десятичные логарифмы, получим:

$$y = L(1 - 10^{-K_1 t}). \quad (4.11)$$

Очень важной величиной в уравнении (4.11) является константа K_1 , от значения которой зависит ход изменения БПК и значение БПК₅. На рис. 4.5

Рис.4.5. Зависимость БПК от константы скорости потребления кислорода K_1 ($\text{БПК}_{\text{полн}} = 100 \text{ мг/л}$)



изображена кинетика БПК для значений K_1 , равных 0,1, 0,2 и 0,3. В первом случае БПК_5 составляет 68,4%, во втором — 90% и в третьем — 96,8% $\text{БПК}_{\text{полн}}$.

От чего же зависит значение константы K_1 ? Большинство авторов считает, что оно зависит прежде всего от скорости, с которой способны биологически окисляться присутствующие органические вещества. Поэтому, например, для неочищенных городских стоков значение K_1 выше (0,15–0,20), чем для той же воды после биологической очистки (0,10). Для некоторых производственных сточных вод, содержащих преимущественно вещества, которые биологическим путем разлагаются медленно, значения K_1 могут быть менее $0,1 \text{ сут}^{-1}$.

Константа K_1 зависит также от исходного числа присутствующих бактерий, т.е. от биоценоза:

$$K_1 = f(\text{количество бактерий}). \quad (4.12)$$

Стандартный метод определения БПК_5 нестандартен в том смысле, что определения каждый раз проводятся с неизвестной концентрацией микробного комплекса.

Следующим фактором, влияющим на значение константы K_1 , является адаптация биоценоза к данному органическому соединению. Этот фактор проявляется прежде всего при определении БПК в производственных сточных водах. До тех пор, пока используемый биоценоз недостаточно адаптирован, константа K_1 имеет низкие значения, следовательно, получаются и заниженные результаты определения БПК_t .

Значительная вариабельность константы K_1 указывает на то, что ни БПК_5 , ни $\text{БПК}_{\text{полн}}$ не являются точной и адекватной мерой органических загрязнений, способных к биохимическому разложению. Так, например, средняя БПК_5 стандартного раствора смеси глюкозы и глутаминовой кислоты (1:1), определявшаяся в 34 различных лабораториях США [8], имела стандартное отклонение $\pm 20\%$. Другие примеры можно найти в табл. 4.3, где приведены удельные значения БПК_5 метанола, этанола, уксусной кислоты и глюкозы, определявшиеся в разных лабораториях [9]. Из табличных данных видно, что стандартное отклонение колеблется от 12 до 29%.

Из рис. 4.4 видно, что величины БПК_5 и $\text{БПК}_{\text{полн}}$ являются лишь относительной мерой содержания в сточной воде органических веществ, способных к биохимическому распаду, поскольку часть этих веществ всегда расходуется на синтез новой биомассы, полное окисление которой практически нереализуемо. В табл. 4.4 приведены удельные значения БПК_5 [9], $\text{БПК}_{\text{полн}}$

Таблица 4.3

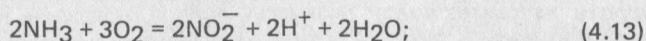
№ лабора- тории	Удельное значение БПК ₅ , г/г			
	метилового спирта	этилового спирта	уксусной кислоты	глюкозы
1	0,76	0,93	0,34	0,50
2	0,77	1,00	0,45	0,53
3	0,77	1,07	0,52	0,53
4	0,80	1,14	0,53	0,62
5	0,80	1,25	0,59	0,63
6	0,82	1,26	0,62	0,64
7	0,90	1,29	0,77	0,64
8	0,90	1,40	0,85	0,74
9	0,90	1,44	0,88	0,77
10	0,93	1,67	—	—
11	1,12	—	—	—
\bar{x}	0,86	1,25	0,62	0,62
σ	$\pm 0,106$	$\pm 0,223$	$\pm 0,183$	$\pm 0,094$
$c_v, \%$	12,3	17,8	29,5	15,1

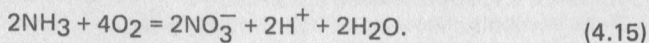
[10], ТПК и их соотношения для некоторых органических соединений. Из табл. 4.4 видно, что для каждого соединения ТПК не равно БПК_{полн}. В связи с этим понятие БПК_{полн} не имеет однозначного количественного определения. На практике БПК_{полн} составляет 40–90% значения ТПК.

Таблица 4.4

Соединение	БПК ₅ , г/г	БПК _{полн} , г/г	ТПК, г/г	БПК ₅ ТПК	БПК _{полн} ТПК
Метиловый спирт	0,86	1,03	1,51	0,570	0,682
Этиловый спирт	1,25	1,82	2,08	0,601	0,875
Бутиловый спирт	1,50	1,51	2,59	0,579	0,583
Глицерин	0,68	0,86	1,23	0,553	0,699
Формальдегид	0,57	0,75	1,07	0,533	0,701
Ацетальдегид	1,07	1,27	1,82	0,698	0,588
Муравьиная кислота	0,20	0,276	0,35	0,571	0,789
Уксусная кислота	0,62	0,86	1,06	0,585	0,811
Масляная кислота	0,90	1,40	1,78	0,506	0,787
Пальмитиновая кислота	1,07	2,03	2,87	0,373	0,707
Этилацетат	0,83	1,49	1,83	0,454	0,814
Ацетон	0,85	1,68	2,17	0,392	0,774
Бензойная кислота	1,37	1,61	1,96	0,699	0,821
Фталевая кислота	0,87	1,00	1,45	0,600	0,690
Фенол	1,18	1,68	2,38	0,706	0,496
Пирокатехин	0,69	1,47	1,89	0,365	0,778
Анилин	1,50	1,90	2,41	0,622	0,788
Глюкоза	0,60	0,62	1,06	0,585	0,566
Сахароза	0,49	0,66	1,12	0,589	0,435

Ход определения БПК и значения величин БПК₅ или БПК_{полн} могут быть искажены за счет процесса нитрификации. Автотрофные бактерии-нитрификаторы получают энергию за счет окисления аммиачного и нитритного азота согласно уравнениям:





На окисление 1 мг аммиачного азота до нитрита расходуется 3,43 мг кислорода, а на окисление 1 мг нитритного азота до нитрата требуется 1,14 мг кислорода. Таким образом, на полное окисление 1 мг аммиачного азота расходуется 4,57 мг кислорода. Если этот расход кислорода не учитывать или не ингибировать процессы нитрификации, значения БПК оказываются завышенными.

В специальной литературе часто приводится утверждение, что в ходе определения БПК сначала происходит окисление углерода и водорода соответственно до CO_2 и H_2O и лишь потом развивается процесс нитрификации (окисление аммиачного азота до нитрита и нитрата до нитрата). Это положение верно для воды, которая содержит лишь незначительное количество микроорганизмов-нитрификаторов и имеет низкую концентрацию аммиачного азота. При высоких же концентрациях этих бактерий и аммиачного азота процессы нитрификации и карбонизации идут параллельно с первых же суток инкубации. Так часто случается при определении БПК воды после ее биологической очистки, когда нитрификация уже произошла в аэротенках или в биофильтрах. При этом расход кислорода на нитрификацию может составлять до 50% значения БПК₅.

Влияние нитрификации на БПК₅ можно учесть или полностью исключить. При вычислении поправки определяют содержание нитритов и нитратов в образце воды до и после инкубации. Разница полученных значений позволяет вычислить количество кислорода, израсходованного на нитрификацию. Найденное количество кислорода вычитают из полученного суммарного значения БПК₅. Для подавления процесса нитрификации используют большую, чем у остальных бактерий, чувствительность бактерий-нитрификаторов ко многим химическим соединениям. Для ингибирования нитрификации рекомендовано, в частности, применять метиленовый синий, хлористый аммоний, тиомочевину, аллилтиомочевину и некоторые другие вещества. При применении хлорида аммония ингибирование происходит под действием самого субстрата. Нитрификация подавляется в 0,1 М растворе NH_4Cl [11]. В настоящее время наиболее эффективным ингибитором нитрификации считается аллилтиомочевина [12], которая уже при концентрации 0,5 мг/л ингибирует процесс окисления ионов аммония до нитритов. Однако окисление нитритов до нитратов в этих условиях не блокируется.

4.1.3. Определение органических загрязнений в виде *Sorg*. Содержание органических веществ в воде может быть косвенно определено в форме органического углерода. Принцип определения основан на окислении органического углерода до CO_2 . Процесс окисления можно реализовать жидкофазным сжиганием или прокаливанием [13].

При жидкофазном сжигании в качестве окислителей используют бихромат калия, хромовый ангидрид, йодат калия, персульфат калия, марганцево-кислый калий. Окисление обычно проводят в среде серной кислоты при температуре 100–200°C. Более высокая температура достигается при добавлении фосфорной кислоты. Применяют как индивидуальные окислители, так и их смеси, часто с добавлением катализаторов. Оксид углерода вытесняют из реакционной смеси кислородом, азотом или воздухом и определяют его количество весовым, ацидиметрическим, объемным, кондуктометрическим или потенциометрическим методами [13]. Методы с применением

жидкофазного окисления дают надежные результаты, однако довольно трудоемки и требуют много времени.

Термическое сжигание осуществляют в анализаторах органического углерода, выпускаемых, например, фирмой "Бекман". Каталитическое сжигание органических веществ проводят в этом случае при 900–1000°C. Образующийся оксид углерода вместе с потоком газа-носителя (воздуха или кислорода) поступает в анализатор, в котором измеряется и автоматически регистрируется характерное для CO_2 поглощение в инфракрасной области спектра. Неорганический углерод должен быть предварительно удален из пробы или определен в ней. В последнем случае результаты этого определения необходимо вычесть из общего количества углерода, найденного в пробе. Чувствительность определения составляет около 0,5 мг/л. Автоматические анализаторы углерода удобны для серийных анализов.

Хотя содержание органического углерода в сточных водах можно определять количественно, оно не является удобным показателем степени их загрязненности. Для технологических расчетов (например, для определения расхода кислорода в аэротенках), а также для расчетов процессов самоочищения в реках необходимо загрязненность выразить в кислородных единицах. Предположим, например, что имеются два образца разных сточных вод с одинаковым содержанием органического углерода, равным 100 мг/л. Средний элементный состав органических веществ в одном образце пусть будет $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, в другом — $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$. В таком случае количество кислорода, необходимое для полного окисления органических веществ в первом образце, составляет 266,8 мг/л, а во втором — 355,5 мг/л. Из приведенного примера ясно, что рассматриваемые образцы с точки зрения потенциального расхода кислорода загрязнены в разной степени, несмотря на одинаковое содержание органического углерода. Поэтому для характеристики загрязненности сточной воды помимо содержания органического углерода необходимо знать и значение ХПК.

4.1.4. Связь между ТПК, ХПК, БПК и $\text{C}_{\text{орг}}$. Значение ХПК характеризует содержание в воде органических веществ как подвергающихся, так и не подвергающихся биохимическому разложению. Величины БПК₅ и БПК_{полн} отражают, однако, лишь частично наличие тех веществ, которые служат субстратом для микроорганизмов. Поэтому при правильно проведенных анализах $\text{ТПК} \geq \text{ХПК} > \text{БПК}_{\text{полн}} > \text{БПК}_5$. Между БПК₅ и ХПК для различных сточных вод были найдены следующие соотношения:

$$\text{БПК}_5 = \alpha \text{ХПК}; \quad (4.16)$$

$$\text{БПК}_5 = \alpha \text{ХПК} - b; \quad (4.17)$$

$$\text{БПК}_5 = \alpha \text{ХПК} + b, \quad (4.18)$$

где величины a и b характеризуют степень окисляемости загрязнений.

Соотношение (4.16) верно для сточных вод, содержащих только те вещества, которые легко подвергаются биологическому разложению и количественно окисляются химическим путем. В этом случае отношение $\text{БПК}_5/\text{ХПК} = \alpha$ колеблется от 0,5 до 0,7. Соотношение (4.17) справедливо для сточных вод, в которых, помимо легко разлагающихся веществ, присутствуют соединения, неразлагающиеся или разлагающиеся медленно, ХПК которых примерно равно отношению b/a . Соотношение (4.18) может соблюдаться для производственных сточных вод, которые содержат биологически распадающиеся вещества, не окисляющиеся в условиях бихроматного метода (например, низшие алифатические амины, пиридин и его производ-

ные). Это соотношение верно также в тех случаях, когда значения БПК₅ определяются с систематической поправкой на нитрификацию.

В целом отношение БПК₅/ХПК является хорошим индикатором полноты биологического распада органических соединений, присутствующих в производственных стоках. Как уже указывалось выше, эта величина для сточных вод, загрязненных легко разлагающимися веществами, находится в пределах 0,5–0,7. Чем больше неразлагающихся биологическим путем веществ содержится в сточной воде, тем ниже отношение БПК/ХПК. Для сточных вод, прошедших полную биологическую очистку, оно обычно меньше 0,1.

Рассмотрим далее соотношения ТПК/С_{орг} и ХПК/С_{орг}, характеризующие степень окисления органических веществ. Чем меньше эти величины, тем выше степень окисления. Значение ТПК/С_{орг} колеблется в пределах от нуля (СО₂) до 5,34 (метан). Существует линейная зависимость между отношением ТПК/С_{орг} и средним показателем степени окисления углерода [14, 15].

В общей химии существует понятие "степени окисления" атомов реагирующих веществ. При окислении степень окисления рассматриваемого атома повышается, а при восстановлении снижается. Она обозначается римскими цифрами и ставится правее и выше символа соответствующего элемента (Fe^{II}, S^{II}, C^{IV}). В электронейтральных молекулах сумма степеней окисления всех атомов равна нулю. Для водорода в большинстве соединений этот показатель равен +1, а для кислорода –2. В молекулах органических соединений с большим числом углеродных атомов отдельные атомы С могут иметь различную степень окисления в зависимости от характера связи. В таких случаях оперируют со средней степенью окисления углеродных атомов. Например, для масляной кислоты и фенола получаем следующие значения средних степеней окисления:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{масляная кислота } \text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2 & 8 \text{ H} \dots & + 8 \\
 & 2 \text{ O} \dots & - 4 \\
 & 4 \text{ C} \dots & - 4 \\
 \hline
 & & 0
 \end{array}$$

средняя степень окисления: $-4/4 = -1$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{фенол } \text{C}_6\text{H}_6\text{O} & 6 \text{ H} \dots & + 6 \\
 & 1 \text{ O} \dots & - 2 \\
 & 6 \text{ C} \dots & - 4 \\
 \hline
 & & 0
 \end{array}$$

средняя степень окисления: $-4/6 = -0,67$.

Максимальное значение степени окисления атома углерода, равное +4, имеет углерод в молекуле СО₂ (это соединение имеет нулевое значение ХПК), а минимальное значение, равное –4, имеет атом углерода в молекуле СН₄. В табл.4.5 отдельные органические соединения расположены в

Таблица 4.5

Соединение	Брутто-формула	Число атомов C	ТПК, г/г	C _{орг} , г/г	ТПК/C _{орг}	ССОУ
Метан	CH ₄	1	4,00	0,748	5,34	-4,00
Этан	C ₂ H ₆	2	3,724	0,798	4,68	-3,00
Гексан	C ₆ H ₁₄	6	3,528	0,835	4,22	-2,33
Метанол	CH ₄ O	1	1,498	0,375	4,00	-2,00
Этанол	C ₂ H ₆ O	2	2,083	0,521	4,00	-2,00
Бутанол	C ₄ H ₁₀ O	4	2,590	0,648	4,00	-2,00
Гексадеканол	C ₁₆ H ₃₄ O	16	3,168	0,792	4,00	-2,00
Пальмитиновая кислота	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	16	2,871	0,749	3,83	-1,75
Капроновая кислота	C ₆ H ₁₂ O ₂	6	2,205	0,620	3,56	-1,33
Масляная кислота	C ₄ H ₈ O ₂	4	1,817	0,545	3,33	-1,00
Глицерин	C ₃ H ₈ O ₃	3	1,216	0,391	3,11	-0,67
Фенол	C ₆ H ₆ O	6	2,380	0,765	3,11	-0,67
Адипиновая кислота	C ₆ H ₁₀ O ₄	6	1,494	0,494	2,89	-0,33
Формальдегид	CH ₂ O	1	1,066	0,400	2,67	0,00
Уксусная кислота	C ₂ H ₄ O ₂	2	1,066	0,400	2,67	0,00
Глюкоза	C ₆ H ₁₂ O ₆	6	1,066	0,400	2,67	0,00
Глутаминовая кислота	C ₅ H ₉ O ₄	5	0,978	0,408	2,39	0,40
Янтарная кислота	C ₄ H ₆ O ₄	4	0,987	0,407	2,33	0,50
Лимонная кислота	C ₆ H ₈ O ₇	6	0,749	0,374	2,00	1,00
Муравьиная кислота	CH ₂ O ₂	1	0,347	0,261	1,33	2,00
Щавелевая кислота	C ₂ H ₂ O ₄	2	0,177	0,266	0,66	3,00
Диоксид углерода	CO ₂	1	0,000	0,273	0,00	4,00

порядке возрастания значений степени окисления углерода и соответственно уменьшения значений отношения ТПК/C_{орг}. Для сравнения приведен и диоксид углерода. Вещества выбраны с таким расчетом, чтобы был представлен весь диапазон возможных значений степени окисления углерода.

Для субстратов известного состава среднее значение степени окисления углерода (ССОУ) вычисляется по формуле

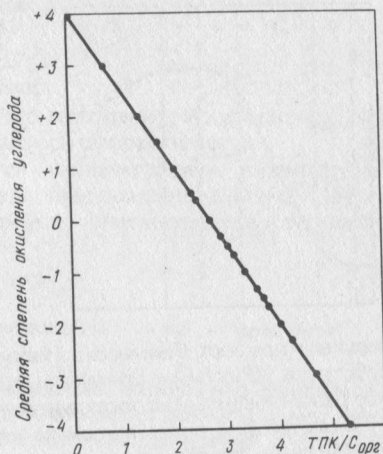
$$\text{ССОУ} = 4 - 2 \left(n_{\text{O}_2} / n_{\text{C}} \right), \quad (4.19)$$

где n_{O_2} — число атомов кислорода, необходимое для полного окисления данного вещества до CO₂, H₂O и NH₃; n_{C} — число атомов углерода в молекуле данного вещества.

Зависимость между средним значением степени окисления углерода и отношением ТПК/C_{орг} представлена на рис.4.6 и описывается следующим уравнением:

$$\text{ССОУ} = 4 - 1,5 \left(\text{ТПК} / \text{C}_{\text{орг}} \right). \quad (4.20)$$

Рис.4.6. Зависимость между средней степенью окисления атома углерода и отношением ТПК/С_{орг}



Поскольку при бихроматном методе определения ХПК примерно равна ТПК, из отношения ХПК/С_{орг} можно с определенной точностью найти среднюю степень окисления углерода. Отношение ХПК/С_{орг} в производственных сточных водах колеблется в пределах 2,5–3,5, а после их биологической очистки понижается до 2,0–2,5.

4.2. АЭРОБНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНОГО ИЛА

4.2.1. Рост и размножение микроорганизмов. Процессы, происходящие при биологической очистке сточных вод, в целом можно схематически представить так же, как и процессы, протекающие при определении БПК (см. рис.4.3). Часть органических веществ, удаляемых из сточной воды, окисляется до CO₂ и H₂O, а часть расходуется на синтез запасных веществ и образование новых клеток. В качестве запасных веществ чаще всего синтезируются полисахариды и липиды. В результате процесса синтеза происходит увеличение количества биомассы и числа микроорганизмов. При этом следует различать понятия роста и размножения [16]. Рост обычно означает увеличение концентрации биомассы, при этом деление клеток не обязательно. У некоторых микроорганизмов заметно возрастают размеры и масса материнских клеток перед стадией деления на две дочерние клетки. Так, микроорганизмы активного ила способны увеличить свою массу в два раза в сравнении с первоначальной, прежде чем наступит деление клеток [17]. Напротив, существуют иные организмы, размножающиеся без предварительного заметного увеличения биомассы. Так, например, гомотенные нити *Sphaerotilus natans* способны расслаиваться с образованием конидий без заметного увеличения количества биомассы [16].

4.2.1.1. Одноразовые системы. Кривая роста. Важным фактором, определяющим, будет ли в данной одноразовой системе осуществляться деление клеток или только их рост без деления, является исходное соотношение массы субстрата и биомассы S_0/X_0 . Очевидно, что, например, в системе с начальной концентрацией субстрата 0,2 кг/м³ и биомассы 2 кг/м³ ($S_0/X_0 = 0,1$ — соотношение, часто встречающееся при очистке сточных вод) заметного размножения микроорганизмов не будет, хотя возможен незначи-

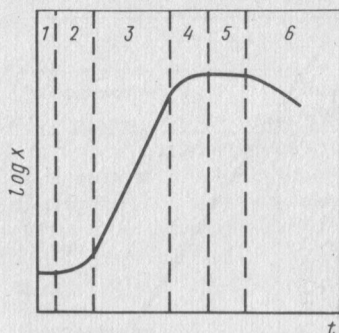


Рис.4.7. Кривая роста микроорганизмов
1 — лаг-фаза; 2 — фаза ускоренного роста;
3 — экспоненциальная фаза; 4 — фаза замедления
роста; 5 — стационарная фаза; 6 — фаза лизиса

тельный прирост биомассы. Напротив, в системе с начальной концентрацией субстрата 10 кг/м^3 и биомассы $0,1 \text{ кг/м}^3$ ($S_0/X_0 = 100$) произойдет интенсивное размножение микроорганизмов с высоким приростом биомассы.

В системах с очень высоким исходным соотношением S_0/X_0 рост микроорганизмов всегда связан с их размножением. Процесс роста можно изобразить графически так называемой кривой роста. Эта кривая в зависимости от выбранного критерия роста — числа клеток или количества биомассы — имеет достаточно характерный вид.

Классический ход кривой роста, где X означает число микроорганизмов в единице объема, представлен на рис.4.7. На этой кривой можно выделить шесть различных фаз.

На кривой роста в случае, когда X означает количество биомассы, можно отметить практически лишь три фазы [7]. Лаг-фаза и фаза ускоренного роста сливаются с экспоненциальной фазой. Масса микроорганизмов растет до начала их размножения. Далее следует фаза замедления роста и полностью отсутствует стационарная фаза. После исчерпания экзогенного субстрата сразу наступает окисление эндогенного субстрата, за счет чего снижается количество биомассы. Число живых организмов, однако, некоторое время остается постоянным. Наконец, следует фаза лизиса, причем уменьшение количества биомассы происходит гораздо медленнее, чем сокращение числа живых микроорганизмов.

Уже по виду кривой роста можно заметить, что ее нельзя описать единым математическим уравнением. Сравнительно просто поддается математической обработке процесс экспоненциальной фазы роста. Скорость роста здесь определяется выражением

$$dX/dt = \mu X, \quad (4.21)$$

откуда после интегрирования получаем

$$X = X_0 e^{\mu t}, \quad (4.22)$$

где X и X_0 — концентрации микроорганизмов в моменты времени t и $t = 0$; μ — удельная скорость роста.

Уравнение (4.21) однозначно определяет удельную скорость роста. Если время, необходимое для увеличения числа микроорганизмов вдвое в начале экспоненциальной фазы, обозначить через t_g , то из уравнения (4.22) следует:

$$2X_0 = X_0 e^{\mu t_g}. \quad (4.23)$$

Преобразованием уравнения (4.23) получим:

$$t_c = \ln 2 / \mu = 0,69 / \mu. \quad (4.24)$$

Время t_c называют временем жизни одного поколения. Из уравнения (4.24) видно, что это время зависит только от удельной скорости роста.

Удельная скорость роста определяется концентрацией лимитируемого субстрата S в соответствии с уравнением, предложенным Моно [18]. Это уравнение аналогично уравнению Михаэлиса, описывающему энзиматическую кинетику:

$$\mu = \mu_{\max} [S / (k_s + S)], \quad (4.25)$$

где μ_{\max} — максимальная удельная скорость роста, а k_s — константа насыщения.

При биологической очистке сточных вод очень важно, что константа насыщения k_s для большинства субстратов и микроорганизмов имеет весьма низкое значение. В табл.4.6. приведены некоторые данные из работы Пирта [19].

Таблица 4.6

Микроорганизм (род)	Субстрат	k_s , г/м ³
Escherichia	Глюкоза	$0,8 \times 10^{-2}$
"	"	4,0
"	Лактоза	20,0
"	Маннит	2,0
"	Триптофан	$1,1 \times 10^{-3}$
"	"	$4,9 \times 10^{-4}$
Pseudomonas	Метиловый спирт	0,7
Aspergillus	Глюкоза	5,0
Saccharomyces	"	25,0
Candida	Глицерин	4,5

Классический вид кривой роста, изображенной на рис.4.7, на практике, в зависимости от конкретных условий, может несколько отличаться от приведенного на рисунке как при низких, так и при высоких исходных значениях отношения S_0/X_0 .

На рис.4.8,а приведена кривая роста, полученная при низком начальном соотношении S_0/X_0 , т.е. в типичном случае очистки сточных вод. Из характера этой кривой видно, что рост биомассы происходит только за счет синтеза запасных веществ, а размножение микроорганизмов вообще отсутствует. Подтверждением тому служит как линейная убыль субстрата, так и резко возрастающее содержание углеводов в биомассе. Накопление углеводов (полисахаридов) в клетках микроорганизмов приводит к тому, что процентное содержание белка уменьшается.

При более высоких исходных значениях S_0/X_0 через определенный период в смешанной культуре наступает деление клеток. Это деление часто происходит по варианту, называемому синхронным делением. Пример такого деления приведен на рис. 4.8,б, где моменту синхронного деления соответствует резкий излом кривой роста и кривой удаления субстрата.

Синхронное деление можно вызвать, например, следующими способами: тепловым шоком, фракционным фильтрованием, центрифугированием культуры, а также голоданием микроорганизмов [20]. Последний фактор является типичным при очистке сточных вод. С точки зрения общей

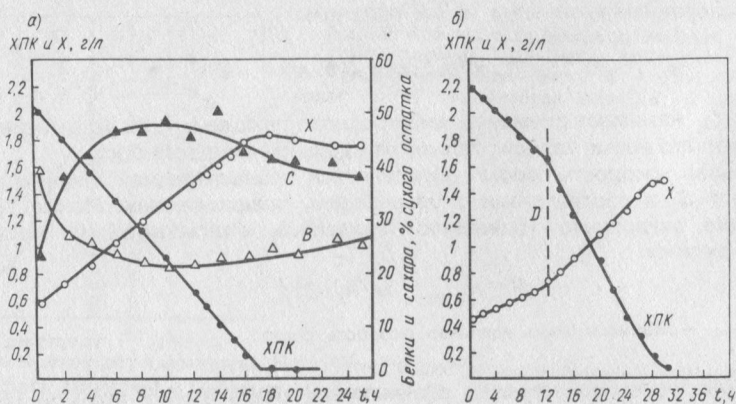


Рис.4.8. Кривые роста биомассы X и удаления субстрата (глюкоза определена в единицах ХПК) при однократном культивировании активного ила, выращенного

а — в непрерывной системе с концентрационным градиентом субстрата (крахмал + пептон) и с раздельным регенерированием ила при $S_0/X_0 = 3.9$ (В — белки; С — сахара); б — в непрерывно действующей системе с идеальным перемешиванием и с раздельным регенерированием ила при $S_0/X_0 = 4.6$ (D — момент наступления синхронного деления клеток)

микробиологии и режима непрерывной культивации микроорганизмов смешанная культура, используемая при очистке сточных вод, сильно „недоедает“ и периодически голодает. В обычных аэротенках с системой коридоров начальная концентрация потребляемого субстрата, составляет 0,2–0,5 кг/м³, а концентрация биомассы — 1,5–3,0 кг/м³ ($S_0/X_0 = 0,1–0,2$). На выходе из аэротенка концентрация биомассы остается примерно прежней, а концентрация субстрата падает до 0,005–0,020 кг/м³. При более высоких концентрациях органических веществ в сточной воде после определенного времени контакта сточной воды с возвратной биомассой последнюю отделяют и аэрируют при отсутствии экзогенного субстрата (аэробная очистка с раздельным регенерированием ила). Поэтому естественно, что у микроорганизмов активного ила часто наступает синхронное деление.

Еще один пример синхронного деления микроорганизмов активного ила приведен на рис.4.9. Культивация проводилась полунепрерывным способом (24-часовой цикл) на субстрате, состоящем из глюкозы и дрожжевого экстракта [17]. Из графика видно, что экзогенный субстрат, содержание которого измерялось ХПК, удалялся из системы с начальным отношением $S_0/X_0 = 0.2$ раньше, чем могло наступить размножение микроорганизмов. Лишь спустя 6 ч после удаления экзогенного субстрата началось интенсивное деление клеток, индуцированное ростом концентрации ДНК. Максимальная концентрация ДНК была достигнута через 12 ч после истощения экзогенного субстрата. Напротив, в системе с исходным отношением $S_0/X_0 = 7$ синхронное деление наступило примерно через 2,5 ч культивации о чем свидетельствуют как изломы на кривых роста биомассы и уменьшения количества субстрата, так и резкое возрастание ДНК в культуральной жидкости. Таковы типичные процессы, происходящие при культивации природных гетерогенных культур, выращенных в системах, где более или менее регулярно чередуются периоды экзогенного и эндогенного метаболизма (питание—голодание).

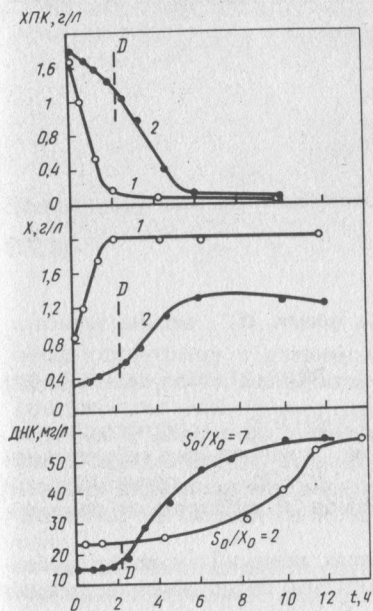


Рис. 4.9. Кривые роста биомассы X , удаления субстрата и изменения концентрации ДНК при полунепрерывном культивировании ила на смеси глюкозы и дрожжевого экстракта [18] (D — момент наступления синхронного деления)

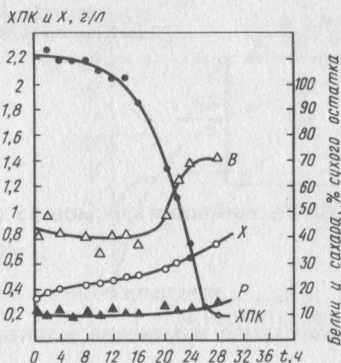


Рис. 4.10. Кривые роста биомассы X и удаления субстрата (α — аланин, определен в единицах $XПК$) при одноразовом культивировании активного ила, выращенного в непрерывно действующем аэротенке-смесителе (крахмал + пептон), при $S_0/X_0 = 5, 7$ (P — полисахариды, B — белки)

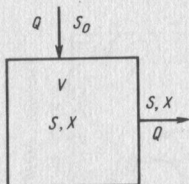
В аэротенках-смесителях, работающих без раздельного регенерирования ила, микроорганизмы находятся в постоянном контакте с небольшим количеством экзогенного субстрата, поэтому чередования экзогенных и эндогенных периодов здесь нет. Активный ил, таким образом, периодически не голодает, а потому не способен к синхронному делению. При его использовании в одноразовых опытах было найдено, что при низких значениях S_0/X_0 размножение клеток в период потребления субстрата также отсутствует, а при более высоких значениях S_0/X_0 получают зависимости, представленные на рис.4.10. Характер этих зависимостей типичен для кинетики роста микроорганизмов, изученной Моно.

4.2.1.2. *Непрерывные системы без рециркуляции биомассы.* Кривую роста можно наблюдать при одноразовой культивации. В непрерывно действующей системе соотношения несколько иные. Наиболее простым случаем является культивация без рециркуляции микроорганизмов (рис.4.11). Изменение концентрации микроорганизмов в кратком временном интервале определяется приростом микроорганизмов и их убылью. Убыль микроорганизмов происходит двумя путями. Она связана, во-первых, с постоянным вытеснением воды из реактора и, во-вторых, с отмиранием и разложением отдельных клеток. Прирост микроорганизмов описывается уравнением (4.21). Убыль микроорганизмов, связанную с вытекающей из реактора водой, можно выразить уравнением

$$-dX/dt = QX/V = DX, \quad (4.26)$$

где $D = Q/V$ — скорость изменения концентрации клеток. Это величина, обратная времени пребывания клеток в реакторе (возрасту клеток).

Рис.4.11. Схема непрерывного культивирования без рециркуляции микроорганизмов



Убыль микроорганизмов за счет лизиса может быть описана уравнением:

$$-dX/dt = k_d X, \quad (4.27)$$

где k_d — константа скорости лизиса.

Суммарное изменение количества клеток за время dt можно записать как

$$dX/dt = \mu X - k_d X - DX. \quad (4.28)$$

При достижении равновесного состояния $dX/dt = 0$, из чего следует, что $\mu = D + k_d$. Равновесное состояние в непрерывно действующей системе наступает в том случае, когда сумма $D + k_d$ равна удельной скорости роста. Концентрация микроорганизмов и субстрата в реакторе при этом постоянна.

Непрерывная система в определенных пределах значений скорости разбавления способна к саморегулированию. Рассмотрим равновесное состояние со следующими параметрами: $\mu_1 = D_1 + k_d$; X_1 ; S_1 .

1. Скорость разбавления снижается от значения D_1 до значения D_2 . В связи с этим микроорганизмы выводятся из реактора с меньшей скоростью, т.е. их концентрация возрастает от первоначального значения X_1 до X_2 . Больше количество микроорганизмов удаляет большее количество субстрата, поэтому концентрация последнего в реакторе падает с первоначального значения S_1 до S_2 . Меньшей концентрацией субстрата соответствует, согласно уравнению (4.25), меньшая удельная скорость роста, которая уменьшается до значения μ_2 . Таким образом, система переходит в новое равновесное состояние со следующими параметрами: $\mu_2 = D_2 + k_d$; X_2 ; S_2 .

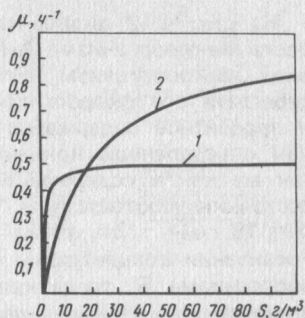
2. Скорость разбавления повышается от первоначального значения D_1 до значения D_2 . Микроорганизмы выводятся из реактора быстрее, их концентрация падает. Меньшее количество микроорганизмов потребляет меньше субстрата, концентрация которого возрастает. Рассмотрим два случая:

а) если $\mu_1 \ll \mu_{\max}$, то при повышении концентрации субстрата до значения S_3 возрастает и удельная скорость роста, достигнув значения μ_3 . Система переходит в новое равновесное состояние с параметрами $\mu_3 = D_3 + k_d$; X_3 ; S_3 ;

б) если $\mu_1 \approx \mu_{\max}$, то удельная скорость роста при повышении концентрации субстрата не может увеличиться. Микроорганизмы постепенно полностью вымываются из реактора, а концентрация субстрата в реакторе и стоке станет равна его концентрации в поступающей на очистку воде. Таким образом, непрерывная система способна к саморегулированию при концентрациях субстрата меньше μ_{\max} .

Рассмотренные выше наиболее простые закономерности работы непрерывной системы справедливы для процесса культивации чистой культуры микроорганизмов. При биологической очистке сточных вод закономерности неизмеримо сложнее. Здесь приходится иметь дело с многокомпонентным субстратом и гетерогенной культурой, которая состоит из многих видов

Рис.4.12. Графическое изображение принципа селекции микроорганизмов в смешанной культуре



микроорганизмов с различным временем жизни и различными удельными скоростями роста. Более того, смешанная культура содержит и высшие микроорганизмы (простейшие, коловратки и т.д.), которые питаются бактериями. После аэротенка смешанная культура сначала отделяется от жидкой фазы осаждением во вторичном отстойнике, а затем в более концентрированном виде подается обратно в аэротенк. Прирост смешанной культуры удаляется из системы в концентрированном состоянии в виде избыточного ила.

4.2.1.3. Использование уравнения Моно при работе с гетерогенными культурами. Естественная селекция микроорганизмов. В п. 4.2.1.2 было указано на способность непрерывной системы культивации чистой культуры микроорганизмов к авторегулированию. Рассмотрим теперь, как влияет концентрация субстрата на относительный видовой состав смешанной культуры.

В смешанной культуре, выращиваемой непрерывным способом в нестерильных условиях, присутствует огромное количество различных микроорганизмов. Их наличие в основном определяется тремя факторами: составом субстрата, возрастом культуры (в системах без рециркуляции — скоростью разбавления) и моментальной концентрацией субстрата в реакторе.

Для субстрата данного состава и культуры данного возраста моментальная концентрация субстрата должна быть решающим фактором, влияющим на скорость роста микроорганизмов в смешанной культуре.

При определении значений константы k_S и μ_{\max} для смешанных культур нужно отдавать себе отчет в том, что определяются средние значения, от которых k_S и μ_{\max} отдельных микроорганизмов могут сильно отличаться. Значения обеих констант, найденные для смешанной культуры и однокомпонентных субстратов, показывают, что существует определенная зависимость между k_S и μ_{\max} [21]. Из значений констант следует, что чем больше k_S , тем больше и μ_{\max} . Для системы с двумя видами микроорганизмов это показано графически на рис. 4.12. Приведенные здесь кривые являются графическим выражением функции, определяемой уравнением (4.25).

Предположим, что кривая 1 ($k_S = 1 \text{ г/м}^3$, $\mu_{\max} = 0,5 \text{ ч}^{-1}$) отражает изменение скорости роста микроорганизма А, а кривая 2 ($k_S = 20 \text{ г/м}^3$, $\mu_{\max} = 1,0 \text{ ч}^{-1}$) — микроорганизма Б. Логично предположить, что процентное содержание данного микроорганизма в смеси пропорционально скорости его роста. Проанализируем теперь, в каком соотношении будут находиться микроорганизмы обоих типов в смеси в зависимости от моментальной концентрации субстрата в реакторе.

Из рис. 4.12 видно, что при низких концентрациях субстрата скорость роста микроорганизма А гораздо выше. Очевидно, что в смеси в этих условиях микроорганизм А будет преобладать. С увеличением концентрации субстрата обе скорости роста сближаются, вследствие чего выравнивается и процентное содержание организмов обоих типов в смеси. При достижении определенной концентрации скорости роста становятся одинаковыми, так же как и содержание микроорганизмов в смеси. На рис. 4.12 данному состоянию соответствует точка пересечения обеих кривых, для которой $S = 18 \text{ г/м}^3$. Эту точку можно считать точкой инверсии. При дальнейшем увеличении концентрации субстрата скорость роста возрастает только у микроорганизма Б, тогда как скорость роста микроорганизма А практически не изменяется, так как достигла своего максимального значения. В смешанной культуре доля микроорганизма Б будет возрастать до тех пор, пока при достаточно высокой концентрации субстрата организм Б практически не достигнет своей максимальной скорости роста. В этом случае доля каждого типа организма в смеси определяется соотношением значений их $\mu_{\text{макс}}$.

Из проведенного анализа следует, что, изменяя концентрацию субстрата в реакторе, можно изменять соотношение различных микроорганизмов в смешанной культуре. Этой естественной физиологической селекцией можно подавить рост нежелательных микроорганизмов и, наоборот, способствовать развитию нужных организмов (конечно, при наличии различий в их ростовых характеристиках).

Рассмотрим пример, приведенный на рис. 4.12. При желании иметь в смеси преимущественно организм А мы должны проводить культивацию при таких параметрах, чтобы концентрация субстрата в реакторе была достаточно мала. Напротив, чтобы получить гетерогенную культуру с преимущественным содержанием организма Б, культивацию необходимо проводить при высоких концентрациях субстрата в реакторе. Последний вариант при очистке сточных вод был бы невыгоден, так как он не отвечает требованиям, предъявляемым к процессу биологической очистки. Эти требования заключаются в достижении минимального значения концентрации субстрата в воде, вытекающей из аэротенка, и максимальной эффективности очистки.

В данном случае напрашивается решение, связанное с изменением типа реактора. Если перейти от реактора с идеальным перемешиванием, в котором концентрация субстрата одинакова по всему объему, к реактору с последовательным потоком (аэротенк с системой коридоров с незначительным перемешиванием), где при соответствующих технологических параметрах возможно поддерживать концентрационный градиент субстрата в направлении потока, то и при очень низких концентрациях субстрата на выходе из реактора можно поддерживать некоторый рост микроорганизмов, развивающихся быстрее при больших концентрациях субстрата. Их интенсивный рост будет проходить главным образом в первой части реактора, где концентрация субстрата больше. В остальной части реактора, где концентрация субстрата становится низкой, абсолютный прирост микроорганизмов с малыми значениями k_s и $\mu_{\text{макс}}$, хотя они и растут быстрее, сравнительно невелик, так как абсолютное количество используемого субстрата в этой части реактора тоже сравнительно мало.

Практическое значение рассмотренных закономерностей для очистки сточных вод смешанной культурой (активным илом) сразу становится ясным, если представить, что, например, ростовую характеристику, изображенную кривой 1 на рис. 4.12, имеют некоторые нитчатые микроорганизмы (*Sphaerotilus*, *Leucothrix*), в то время как кривая 2 характеризует

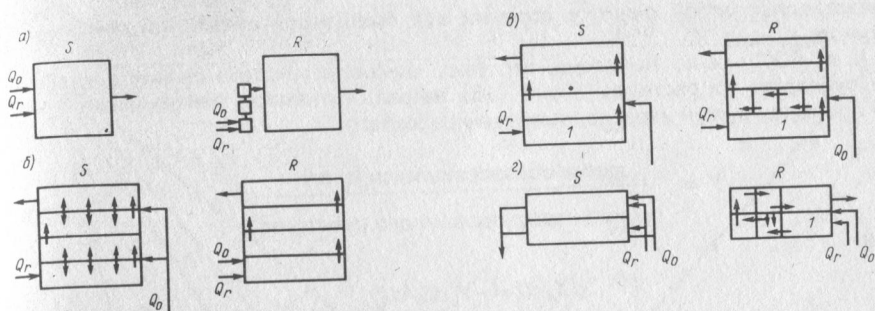


Рис. 4.13. Схематическое изображение систем, способствующих росту (S) и подавляющих рост (R) некоторых нитчатых микроорганизмов
1 — регенератор

развитие зооглейных форм бактерий, способствующих флокуляции мелко-дисперсной взвеси. Присутствие нитчатых микроорганизмов в активном иле нежелательно, так как при этом ил плохо осаждается и концентрируется. Дальнейшая обработка и ликвидация такого ила на очистных сооружениях связана с большими трудностями. Из сказанного выше следует, что рост нежелательных нитчатых микроорганизмов в смешанной культуре можно подавить при использовании реактора соответствующей конструкции. Это было подтверждено результатами лабораторных экспериментов и опытов на полупромышленных и промышленных установках [21–24]. На рис. 4.13 схематически изображены системы, как способствующие росту нитчатых микроорганизмов, так и подавляющие его [23]. На подавлении развития нитчатых организмов в активном иле, помимо отрицательного концентрационного градиента субстрата в направлении потока, положительно сказывается также регенерация ила.

На рис. 4.13,а показан способ подавления вспухания активного ила, получающегося при аэробной очистке сточной воды с низкой нагрузкой. В этом случае достаточно установить перед реактором селектор, состоящий из 3–5 единиц, с временем пребывания смеси в каждой 5–10 мин. Такой селектор при необходимости может быть одновременно использован как денитрификатор. Рис. 4.13,б и в иллюстрирует переделку системы Гульда на системы с последовательным потоком и отдельной регенерацией ила. На рис. 4.13,г показано, как можно переделать перегруженную систему с вспуханием ила на систему без вспухания или с ограниченным вспуханием активного ила. Объем регенератора в зависимости от конкретных условий может составлять от 25 до 75% общего объема.

4.2.2. Кинетика удаления органических веществ из сточных вод. Микро-биологическое разложение органических веществ может происходить в следующих четырех вариантах: а) однокомпонентный субстрат и чистая культура; б) однокомпонентный субстрат и смешанная культура; в) многокомпонентный субстрат и чистая культура; г) многокомпонентный субстрат и смешанная культура.

Вариант (а) — наиболее простой — чаще всего служит предметом изучения микробиологов и биохимиков, занимающихся микробным окислением и ассимиляцией. Вариант (в) уже сложнее, так как в этом случае возможны различные явления типа диауксии и т.д. Варианты (б) и (г) интересуются главным образом специалисты по очистке сточных вод. Вариант (г)

представляет собой очистку сточных вод смешанной культурой микроорганизмов.

В п. 4.2.1 было показано, что рост микроорганизмов связан с удалением субстрата из раствора. Моно [18] нашел, что выход бактериальной массы пропорционален израсходованному субстрату:

$$Y = \frac{\text{масса образовавшихся клеток}}{\text{масса израсходованного субстрата}} \quad (4.29)$$

или

$$dX/dt = -Y(ds/dt), \quad (4.30)$$

где Y — константа выхода биомассы, или коэффициент продукции биомассы.

Если в период роста и удаления субстрата величина Y сохраняет постоянное значение, то из уравнений (4.30), (4.24) и (4.25) можно вывести уравнение кинетики потребления субстрата

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{\mu_{\max}}{Y} X \frac{S}{K_s + S}. \quad (4.31)$$

Интегрируя это уравнение, получим $S = f(t)$. При интегрировании следует различать два варианта. В первом, более простом варианте, в процессе удаления субстрата размножение микроорганизмов не происходит, т.е. $X = \text{const}$ (X в данном случае обозначает количество микроорганизмов). Для начального значения X_0 интегрирование и последующим преобразованием получаем зависимость

$$K_s \ln(S_0/S) + S_0 - S = (\mu_{\max}/Y) X_0 t. \quad (4.32)$$

Второй вариант имеет место при очень высоких начальных значениях отношения S_0/X_0 (обычно от 2 до 4), когда в процессе потребления субстрата происходит одновременно и размножение микроорганизмов, т.е. $X \neq \text{const}$, где X — количество микроорганизмов. В практике очистки сточных вод с высоким исходным значением S_0/X_0 не приходится встречаться, поэтому второй вариант здесь рассматриваться не будет, и мы вернемся к уравнению (4.32). Поскольку значения K_s в сравнении с S очень малы, первым членом левой части равенства (4.32) можно пренебречь. Тогда получим

$$S = S_0 - K_0 X_0 t, \quad (4.33)$$

где $K_0 = \mu_{\max}/Y$. Уравнение (4.33) представляет собой кинетическое уравнение реакции нулевого порядка с константой K_0 .

Поскольку для большинства микроорганизмов и субстратов значения константы насыщения в уравнении (4.25) очень низкие (см. табл. 4.6), удаление однокомпонентных субстратов смешанной культурой будет проходить в соответствии с реакцией нулевого порядка, т.е. с постоянной скоростью. Это положение было подтверждено как при измерении расходования данного вещества, проведенного с помощью специфических реагентов (например, глюкоза-антрона, фенол-п-нитроанилина и т.д.), так и при измерении снижения ХПК этого вещества в системе. Пример линейного удаления глю-

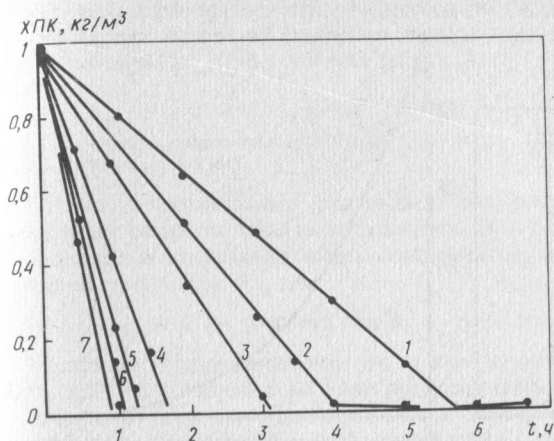


Рис. 4.14. Влияние начальной концентрации биомассы на скорость снижения ХПК при окислении лактозы при значениях X_0 , кг/м³
 1 — 0,614; 2 — 0,905; 3 — 1,272; 4 — 1,793;
 5 — 2,860; 6 — 2,900; 7 — 3,800

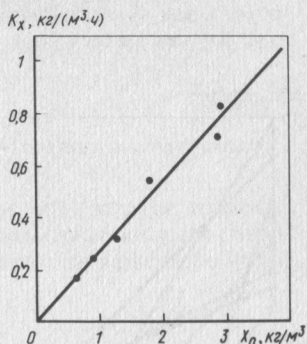


Рис. 4.15. Зависимость константы K_X из уравнения (4.34) от начальной концентрации биомассы ($K_X = 0,275 X_0$)

козы адаптированной смешанной культурой (активным илом) приведен на рис 4.8,а и может быть описан уравнением реакции нулевого порядка:

$$-d\text{ХПК}/dt = K_x. \quad (4.34)$$

Константа K_x есть скорость удаления субстрата из данной системы. В действительности же она не является постоянной величиной, так как зависит от начального количества биомассы по сухому веществу данной смешанной культуры. Эта зависимость приведена на рис. 4.14 и 4.15 для лактозы и может быть описана уравнением

$$-d\text{ХПК}/dt = K_0 X_0, \quad (4.35)$$

где X_0 — начальная концентрация сухой биомассы смешанной культуры (активного ила). Константа K_0 представляет собой удельную скорость снижения ХПК. В практике ее обычно относят к единице массы беззольного ила.

Константа K_0 в уравнении (4.35) примерно постоянна только для данного соединения и данной смешанной культуры, адаптированной к этому соединению. В общем случае значение этой константы зависит от активности микроорганизмов. Ее можно считать как бы мерой активности смешанной культуры, т.е. ее способности удалять данное соединение из раствора. Так, для глюкозы были измерены минимальное значение удельной скорости снижения ХПК, равное 0,050 кг/(кг · ч), и максимальное, равное 0,965 кг/(кг · ч); обе величины отнесены к сухой биомассе.

Если однокомпонентный субстрат удаляется с постоянной скоростью (см. рис.4.8), это означает, что в процессе его удаления микроорганизмы не размножаются. Для естественной смешанной культуры (активный ил) так бывает при начальном значении отношения S_0/X_0 , меньшем 2. При больших значениях S_0/X_0 при одноразовой культивации часто наступает синхронное размножение, которому соответствует излом на кривой

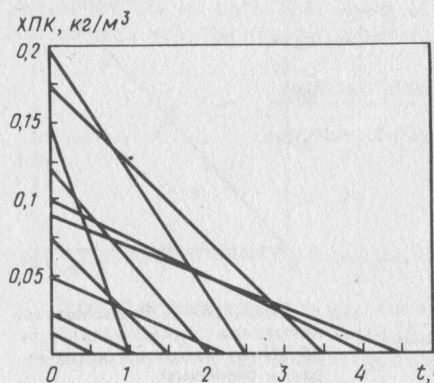


Рис. 4.16. Пример одновременного снижения ХПК отдельных компонентов из многокомпонентного субстрата

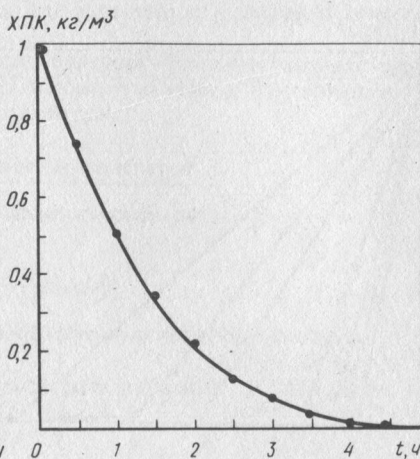


Рис. 4.17. Суммарная кривая снижения количества многокомпонентного субстрата (в единицах ХПК), построенная по данным рис. 4.16

удаления субстрата (см. рис.4.9). После точки излома удаление субстрата происходит опять линейно, однако с большей скоростью, соответствующей большему числу живых организмов. При очень высоких значениях S_o/X_o удаление субстрата происходит с постоянно растущей скоростью и описывается типичной сигмоидной кривой Моно (см. рис.4.10).

Сточные воды обычно содержат пеструю смесь самых разнообразных органических соединений (многокомпонентный субстрат), причем каждое из них присутствует в различной концентрации и утилизируется микроорганизмами с различной скоростью. Кроме того, при очистке сточных вод может иметь место так называемая диауксия, т.е. определенное вещество начинает утилизироваться только после того, как другое вещество полностью израсходуется. Хотя это явление у смешанных культур наблюдается редко, тем не менее оно встречается, и с ним необходимо считаться.

Было установлено [25], что из смеси различных органических веществ (многокомпонентный субстрат) каждый компонент удаляется по реакции нулевого порядка. На рис. 4.16 приведен теоретический пример снижения ХПК раствора, содержащего смесь разлагаемых микроорганизмами веществ. На рис. 4.17 представлена суммарная кривая зависимости остаточного ХПК от времени. Теоретически она должна была бы представлять собой ломаную кривую (каждый излом должен показывать исчезновение одного из компонентов субстрата), однако из рис. 4.17 видно, что указанные точки можно соединить плавной кривой. На практике такие кривые получаются и при гораздо меньшем числе компонентов в субстрате. Для математического выражения этой зависимости можно использовать кинетические уравнения различных порядков.

Общая скорость удаления многокомпонентного субстрата в каждый момент времени определяется суммой скоростей удаления из раствора каждого из компонентов. Поскольку удаление каждого компонента происходит в соответствии с реакцией нулевого порядка, т.е. со скоростью, не зависящей от концентрации, то и общая скорость утилизации всего субстрата не зависит

от его исходной концентрации. Пока в растворе присутствуют все компоненты, сумма скоростей удаления каждого из них дает максимальную скорость реакции $(v_r)_{\text{макс}}$ (начальную скорость) :

$$(v_r)_{\text{макс}} = \sum_{i=1}^k (v_r)_i,$$

где k — число компонентов, а $(v_r)_i$ ($i = 1, 2, \dots, k$) — соответствующие скорости удаления каждого из них.

По мере исчезновения отдельных компонентов из раствора падает и суммарная скорость удаления субстрата. Обычно суммарная скорость является функцией отношения числа компонентов, оставшихся в растворе (m) , к исходному их числу k , т.е.

$$v_r = f(m/k).$$

В сточных водах начальное число компонентов, их концентрация и скорость удаления неизвестны. Если предположить, что этих компонентов очень много, то отношение числа оставшихся компонентов к исходному их числу можно выразить отношением концентрации субстрата в момент времени $t(S)$ к концентрации в момент времени $t=0(S_0)$. Дифференциальное уравнение кинетики убыли субстрата будет иметь следующий вид [26] :

$$-dS/dt = K_n X_0 (S/S_0)^n$$

или

$$-dS/dt = K_n (X_0/S_0) S^n, \quad (4.36)$$

где K_n — константа удельной скорости удаления субстрата; X_0 — исходная концентрация биомассы; S_0 — исходная концентрация субстрата; n — константа, отражающая порядок реакции.

Интегрированием уравнения (4.36) для $n = 0, 1$ и 2 получим уравнения, описывающие кинетику удаления субстрата нулевого, первого и второго порядков, — процессов, чаще всего происходящих в практике очистки сточных вод. Реакция нулевого порядка:

$$\frac{S_0 - S}{S_0} = K_0 \frac{X_0}{S_0} t; \quad (4.37)$$

реакция первого порядка:

$$\frac{S_0 - S}{S_0} = 1 - \exp(-K_1 \frac{X_0}{S_0} t); \quad (4.38)$$

реакция второго порядка:

$$\frac{S_0 - S}{S_0} = \frac{K_2 (X_0/S_0) t}{1 + K_2 (X_0/S_0) t} \quad (4.39)$$

или

$$\frac{S_0 - S}{S_0} = \frac{t}{(1/K_2)(S_0/X_0) + t}$$

Константы K_0, K_1, K_2 в этих уравнениях зависят от температуры и измеряются в $\text{кг}/(\text{кг} \cdot \text{ч})$.

Следует подчеркнуть, что порядок реакции для кинетики убыли субстрата не имеет физического смысла. Поэтому значение показателя степени n в

уравнении (4.36) не ограничено целыми числами. Речь идет только о математическом выражении довольно сложных процессов с помощью простых степенных функций.

Уравнения (4.37) — (4.39) описывают утилизацию субстрата смешанной культурой в одnorазовой системе или в непрерывно действующей системе с идеальным потоком, в котором отсутствует перемешивание (поток поршневого типа). Для систем с перемешиванием необходимо написать уравнение материального баланса, в котором одним из членов является соответствующее кинетическое уравнение. Решая уравнение материального баланса субстрата, получим требуемое дифференциальное уравнение:

$$\left[\begin{array}{c} \text{изменение кон-} \\ \text{центрации в ре-} \\ \text{акторе} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{увеличение за} \\ \text{счет притока} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{убыль за счет} \\ \text{реакции} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{убыль} \\ \text{за счет} \\ \text{стока} \end{array} \right]; \quad (4.40)$$

$$V(dS/dt) = Q_0 S_0 - K_n (X_0/S_0^n) S^n V - Q_0 S. \quad (4.41)$$

Для реакторов с идеальным перемешиванием характерно равенство концентрации субстрата в вытекающей из реактора воде его концентрации во всех участках реактора. Разделив все члены уравнения (4.41) на объем реактора V и подставив вместо V/Q_0 время пребывания в реакторе t' , получим:

$$dS/dt = S_0/t' - K_n (X_0/S_0^n) S^n - S/t'. \quad (4.42)$$

В равновесном состоянии $dS/dt = 0$. Для $n = 0, 1$ и 2 решением уравнения (4.42) относительно S получим следующие уравнения. Реакция нулевого порядка:

$$(S_0 - S)/S_0 = K_0 (X_0/S_0) t'; \quad (4.43)$$

реакция первого порядка:

$$\frac{S_0 - S}{S_0} = \frac{K_1 (X_0/S_0) t'}{1 + K_1 (X_0/S_0) t'}; \quad (4.44)$$

реакция второго порядка:

$$\frac{S_0 - S}{S_0} = 1 - \frac{\sqrt{1 + 4K_2 (X_0/S_0) t'} - 1}{2K_2 (X_0/S_0) t'}, \quad (4.45)$$

где $(S_0 - S)/S_0$ — эффективность очистки, выраженная в долях ($E/100$).

Проанализируем теперь зависимость эффективности очистки от ее длительности для реактора с идеальным потоком без перемешивания и реактора с идеальным перемешиванием согласно соответствующим уравнениям кинетики убыли субстрата. Проведем вычисления, приняв следующие значения параметров: $X_0 = 1$ кг/м³; $S_0 = 1$ кг/м³; $K_1 = 0,5$ кг/(кг · ч); $K_2 = 1$ кг/(кг · ч). Результаты вычислений, приведенные в табл. 4.7, показывают, что в обоих случаях очистка в резервуаре с идеальным поршневым потоком намного эффективнее, чем в реакторе с идеальным перемешиванием. Это явление, известное в практике использования химических реакторов [27], объясняется "проскоком" в реакторах с идеальным перемешиванием. При очистке сточных вод это явление не наблюдалось ни в лабораторных [28], ни в заводских условиях [29, 30].

Таблица 4.7

Время, ч	Эффективность, %, для реакций			
	1-го порядка		2-го порядка	
	идеальный поток	аэротенк-смеситель	идеальный поток	аэротенк-смеситель
1	39,3	33,3	50,0	38,2
2	63,2	50,0	67,0	50,0
3	77,7	60,0	75,0	56,6
4	86,5	66,7	80,0	61,0
5	91,8	71,4	83,3	64,2
6	95,1	75,0	85,7	66,7
7	97,0	77,8	87,5	68,7
8	98,2	80,0	88,9	70,4
9	98,9	81,8	90,0	71,8
10	99,3	83,3	90,9	73,0

Одинаковая эффективность очистки, получаемая в обоих типах реакторов, может быть объяснена различным качественным и количественным составом биомассы и различной ее активностью в зависимости от моментальной концентрации субстрата в реакторе. Высокая активность микроорганизмов в реакторах с перемешиванием должна проявиться в более высоких значениях констант скорости, благодаря чему при одинаковой длительности процесса достигается одинаковая эффективность очистки. В свете новых представлений о селекции микроорганизмов в смешанных культурах в зависимости от концентрации субстрата (см. п. 4.2.1.3) становится ясно, что речь идет не о более высокой активности одних и тех же микроорганизмов, а о других микроорганизмах, которые в данных условиях более активны. Это подтверждается также характером зависимостей, представленных на рис. 4.13.

4.2.3. Процесс аэробной очистки и активный ил. Схема процесса аэробной очистки представлена на рис. 4.18. Этот процесс представляет собой культивацию микроорганизмов с рециркуляцией биомассы в нестерильных условиях. В настоящее время он является самым распространенным вариантом биологической очистки сточных вод.

Активным илом называют смешанную культуру, которую впервые удалось вырастить в Манчестере в 1914 г. при длительном аэрировании бытовых сточных вод [31]. В отличие от чистых культур, где отдельные бактерии в большинстве случаев свободно перемещаются, бактерии активного ила существуют преимущественно в зооглейной форме (*Z. ramigera*, *Z. uva*). Среди бактерий в активном иле чаще всего присутствуют роды: *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Chromobacterium*, *Azotobacter*, *Micrococcus*, *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. cereus*, *B. megaterium*), *Alkaligenes*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *Lophomonas*, *Nocardia* и др.

Кроме различных типов бактерий в активном иле могут также присутствовать в меньшем количестве грибы, плесени и дрожжи. Как правило, присутствуют и бактерии-нитрификаторы *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. Из высших микроорганизмов неизменными компонентами активного ила бывают различные простейшие, коловратки, черви и т.д. Из простейших класса *Ciliata* в процентном отношении больше всего *Peritricha* (33%), а также *Vorticella*, *Opercularia* и *Epistylis*. Состав простейших служит индикатором состояния активного ила. Представления об их функции в активном иле со

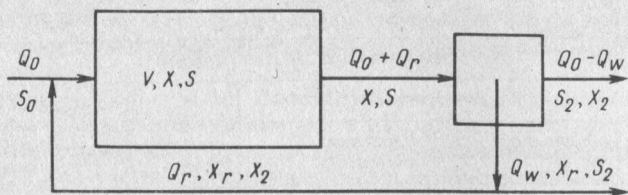


Рис. 4.18. Схема аэробной биологической очистки
 Q_0 — приток сточной воды; Q_R — возвратный ил; Q_W — избыточный ил

временем изменялись. Опытным путем было доказано, что эти организмы резко снижают содержание свободно перемещающихся бактерий в очищенной воде, способствуя ее осветлению. В активном иле часто присутствуют нитчатые микроорганизмы, например *Sphaerotilus*, *Leptomit*, *Leucothrix*, *Thiothrix*, *Toxothrix*, *Beggiatoa*, *Microscilla*, *Nocardia*, *Flexibacter*, *Vitreoscilla*, *Glotrichum candidum*, *Lineola longa*, *Pelonema subtilissimum*, *Spirulina albida*, *Haliscomenobacter hydrossis*, *Microthrix parvicella*, *Nostocoida limicola* и некоторые другие.

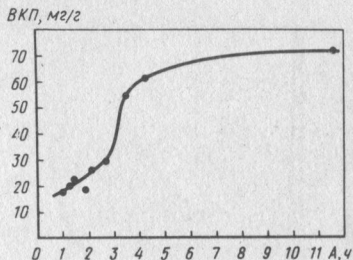
Если эти организмы по каким-либо причинам преобладают в активном иле, его способность к осаждению и уплотнению резко падает, вызывая значительные технологические затруднения.

Качественный и количественный состав активного ила зависит главным образом от состава субстрата, на котором данный ил был выращен, и от технологических параметров, при которых велась культивация (длительность процесса, нагрузка, возраст ила и т.д.). Активный ил отличается от большинства чистых культур микроорганизмов также тем, что отделяется от жидкой фазы простым осаждением. Хорошая флокуляция и способность к осаждению хлопьев ила являются одними из ценнейших свойств этой природной смешанной культуры. Указанные важнейшие для технологического процесса свойства являются результатом действия многих факторов, определяемых характером очищаемой сточной воды и технологическими параметрами. Ниже рассмотрены основные факторы и параметры, определяющие хорошую флокуляцию и, следовательно, хорошую способность активного ила к осаждению и отделению его от очищенной воды.

4.2.3.1. Флокулирующий активный ил. В оптимальных условиях культивации активный ил формируется в виде хорошо слипающихся и осаждающихся хлопьев. Образование хлопьев не является необходимым для эффективного удаления растворенных органических веществ из очищаемой сточной воды, однако оно нужно для получения достаточно плотного возвратного активного ила и обеспечения прозрачности очищенной воды.

Механизм биофлокуляции и определяющие его факторы изучались многими авторами. По мнению Маккинни [7], биофлокуляция вызывается уменьшением электрического заряда критического значения, что позволяет клеткам агрегироваться при их свободном движении. Снижение поверхностного заряда клеток наступает в тот момент, когда клеточные стенки покрываются полисахаридным материалом, продуцируемым клетками преимущественно в период стационарной и эндогенной фаз роста. Крабтри и др. [32] связывают процесс биофлокуляции с образованием внутриклеточного полимера — поли- β -оксимасляной кислоты. Однако большинство специалистов приписывают этому полимеру функцию запасного вещества, которое расходуется в период эндогенной фазы роста, т.е. в период, когда процесс

Рис.4.19. Зависимость содержания внеклеточных полимеров (ВКП), выраженного в пересчете на глюкозу, от возраста смешанной культуры А. Эксперименты по аэробной очистке с перемешиванием проводились в лабораторных условиях, в качестве субстрата использовалась глюкоза [34]



биофлокуляции идет наиболее интенсивно [33]. В связи с этим упомянутый полимер, скорее всего, не является непосредственной причиной слипания клеток. В настоящее время наиболее разработана теория слипания клеток под воздействием внеклеточных полимеров. При этом не исключается и определенное снижение поверхностного заряда. Согласно этой теории биофлокуляция происходит путем взаимодействия продуцируемых клетками высокомолекулярных полиэлектролитов с бактериальными клетками. В результате полиэлектролиты соединяют и связывают отдельные клетки в агрегаты и хлопья, способные отделяться от жидкой фазы осаждением.

Павони и сотрудники [33] исследовали продуцирование внеклеточных полимеров, их состав и свойства при одноразовой культивации. Эти авторы нашли, что интенсивный синтез внеклеточных полимеров всегда наступает после достижения максимума кривой роста, т.е. в период эндогенного метаболизма. В этот период после осаждения культуры значительно снижается мутность культуральной жидкости. Анализ показал, что внеклеточный полимер содержит полисахариды, белки, РНК и ДНК. Отношение $БПК_5/ХПК$ этого полимера составляло около 0,1, что свидетельствует о его значительной устойчивости к биохимическому разложению.

Результаты работы Чао и Кейната [34] по изучению непрерывной системы очистки подтвердили результаты Павони. Ими было найдено, что содержание внеклеточных полимеров в активном иле возрастало с уменьшением нагрузки на ил и с его старением (рис.4.19). Напротив, Гулас и сотрудники [35] при изучении непрерывной системы очистки пришли к противоположным выводам, что удельное содержание внеклеточных полимеров увеличивается с уменьшением возраста активного ила. Магара и сотрудники [36] также пришли к выводу, что повышение содержания внеклеточных полисахаридов ухудшало седиментационные свойства активного ила, культивируемого непрерывным способом.

Из приведенного обзора ясно, что механизм хлопьеобразования активного ила еще недостаточно изучен. Однако большое значение для практики очистки сточных вод имеет выяснение того обстоятельства, что существуют определенные интервалы значений технологических параметров (возраст и нагрузка на ил), позволяющие получать хорошо осаждающуюся смешанную культуру с минимальным содержанием одиночных бактерий.

4.2.3.2. Нефлокулирующий активный ил (дисперсный рост). Дисперсный рост смешанной культуры впервые описал Хейкеман [37]. В определенных условиях микроорганизмы активного ила перестают объединяться в хорошо осаждающиеся хлопья и пребывают в виде одиночных диспергированных клеток. При этом вода, вытекающая из очистной системы, даже после отстаивания обладает большой мутностью и характеризуется высокими значениями $БПК_5$ и $ХПК$, хотя содержание исходных органических веществ в растворе может быть очень низким. В практике водоочистки

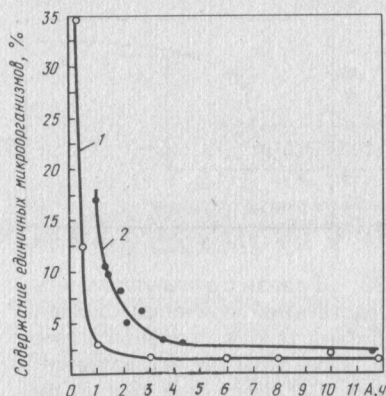


Рис.4.20. Зависимость содержания единичных (тонкодиспергированных) микроорганизмов в активном иле от возраста ила. Аэробная очистка с перемешиванием проводилась в лабораторных условиях, субстратом служила глюкоза

1 — [34]; 2 — [38]

случаи тотального дисперсного роста редки. Обычно часть смешанной культуры образует хорошо отделяющиеся хлопья, а часть находится в виде неосаждающейся взвеси. Причины, вызывающие дисперсный рост, можно разделить на две основные группы.

К первой группе относятся неоптимальные технологические параметры процесса. Обычно чем выше нагрузка на ил и меньше его возраст, тем большая часть смешанной культуры находится в состоянии дисперсного роста (рис.4.20). Как видно из рисунка, низкое содержание неосаждающихся микроорганизмов характерно для активного ила, возраст которого превышает 3 сут. Наоборот, активный ил, возраст которого менее 1 сут, содержит большое количество одиночных бактерий, а мутность прошедшей очистку воды велика. В непрерывных системах без рециркуляции биомассы (хемостаты) возраст ила равен времени задерживания воды в реакторе, т.е. менее 1 сут. Неудивительно, что в таких системах значительная часть смешанной культуры находится в виде неосаждающейся дисперсии.

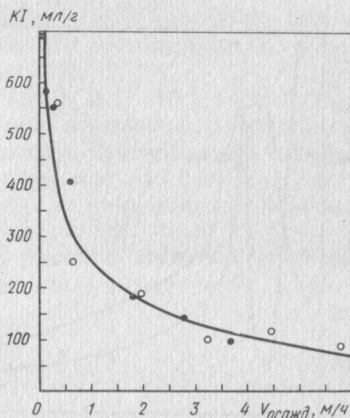
Ко второй группе факторов, препятствующих хлопьеобразованию в смешанной культуре или вызывающих диспергирование уже сформировавшихся хлопьев, относятся факторы, связанные с составом и характером очищаемой сточной воды. Временное диспергирование хлопьев могут, например, вызвать резкие изменения температуры воды, ее засоленности и значения pH. Препятствовать хлопьеобразованию может недостаток некоторых биогенных элементов (например фосфора) и микроэлементов (например тяжелых металлов) или присутствие различных токсичных веществ (органических и неорганических). Так, общеизвестно, что повышенные концентрации тяжелых металлов в сточной воде вызывают частичную дефлокуляцию активного ила.

4.2.3.3. Вспухание активного ила. Оно происходит в том случае, когда ил имеет малую скорость осаждения. На практике о способности активного ила к осаждению и уплотнению судят по значению илового индекса KJ . Из рис.4.21 видно, что чем выше иловый индекс, тем меньше скорость осаждения ила. В зависимости от значения илового индекса Пайпс [39] подразделяет активные илы на три категории: нормальный ил — $KJ < 100$ мл/г; легкий ил — $KJ = 100-200$ мл/г; вспухший ил — $KJ > 200$ мл/л.

Согласно рис.4.21 активные илы первой категории осаждаются со скоростью более 4 м/ч, второй категории — от 2 до 4 м/ч и третьей — менее 2 м/ч.

Различают вспухание нитчатое и нелитчатое. Нелитчатое вспухание ила описали Хейкелеян и Вайсберг [40], охарактеризовав его как зооглей-

Рис.4.21. Зависимость между иловым индексом KI активного ила и скоростью его осаждения $V_{осажд}$ (скорость снижения границы фаз); черные точки — по данным работы [34]; белые точки — по данным работы [38]



ное вспухание. Причины этого явления до сих пор не имеют однозначного объяснения. Гипотеза, что вспухание вызывается сильной гидратацией синтезированных внеклеточных полимеров, противоречит всему тому, что было сказано выше о механизме хлопьеобразования. Этот тип вспухания активного ила на практике встречается редко и не вызывает больших технологических затруднений.

Гораздо большие неприятности доставляет нитчатое вспухание, связанное с чрезмерным развитием в активном иле нитчатых микроорганизмов. Поскольку вспухание такого рода может быть вызвано различными микроорганизмами, имеющими разные скорости роста и требующими для своего развития разных условий, то и причины их массового размножения в смешанной культуре разнообразны. Эти причины тоже можно разделить на две группы.

Первая группа факторов, способствующих чрезмерному росту нитчатых микроорганизмов в активном иле, связана с составом сточной воды. Нитчатые илы губчатого или плеснеобразного характера образуются чаще всего при очистке сточных вод с повышенным содержанием сахаридов. Несбалансированность питательной среды тоже может привести к массовому развитию некоторых нитчатых микроорганизмов. Например, недостаток фосфора может вызвать не только дисперсный рост, но и нитчатое вспухание ила. Это явление связано с тем, что при дефиците фосфора и иных биогенных элементов в среде в смешанной культуре начинают преимущественно развиваться те микроорганизмы, которые наименее чувствительны к недостаточному количеству названных элементов, т.е. организмы, которые в своих клетках содержат сравнительно мало этих элементов.

Ко второй группе факторов, вызывающих рост нитчатых микроорганизмов в активном иле, относятся технологические параметры процесса и особенности его аппаратного оформления. Из технологических параметров наиболее важны возраст ила и нагрузка на ил. В специальной литературе имеются многочисленные данные о влиянии этих факторов на степень нитчатого вспухания, выраженную значением илового индекса. Например, на рис.4.22 показана зависимость илового индекса от возраста ила. Из графика видно, что для возраста более 3 сут обе зависимости, полученные в разных лабораториях, имеют одинаковый вид. В области 1–3 сут эти зависимости практически противоположны одна другой. На рис.4.23 представлены зависимости значений иловых индексов от нагрузки на ил, полученные разными

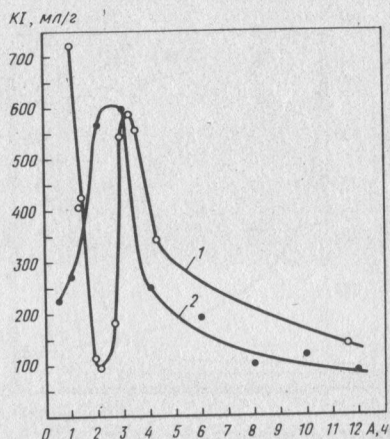
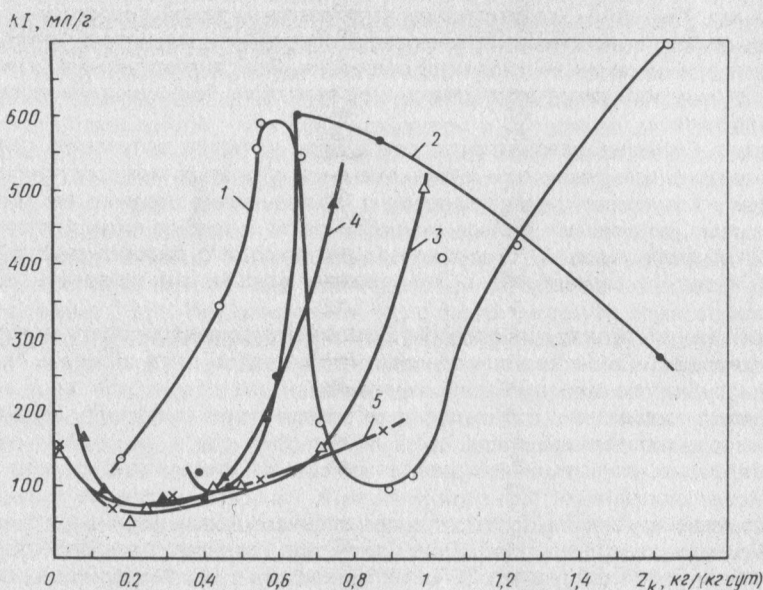


Рис. 4.22. Зависимость илового индекса от возраста ила

1 — по работе [34]; 2 — по работе [38]

Рис. 4.23. Зависимость илового индекса от нагрузки на ил

1 — по работе [34]; 2 — по работе [38]
3 — 5 — по работе [41]; 3 — сточная вода с пивоваренных заводов; 4 — сточная вода с нефтеперерабатывающих заводов; 5 — бытовые сточные воды



авторами. Вид этих кривых подтверждает отсутствие однозначной зависимости илового индекса $KJ = f(Z_k)$, подобно тому как не существует однозначной зависимости $KJ = f(A)$ (см. рис.4.22). Из рис.4.23 видно, что для данной сточной воды и данной технологической системы существует зависимость $KJ = f(Z_k)$, имеющая в определенной области Z_k минимальные значения KJ . Следует отметить, что минимальные значения, найденные для одной станции очистки, обычно не соответствуют минимальным значениям для другой станции. Это связано с тем, что рост нитчатых микроорганизмов в большой степени определяется интенсивностью перемешивания. Было показано [21–23], что системы аэробной очистки с высокой степенью перемешивания в направлении потока (аэротенки-смесители) способствуют росту

нитчатых микроорганизмов, тогда как в системах с малой степенью перемешивания развивается преимущественно сапрофитная микрофлора. Теоретические основы этого явления рассмотрены в п. 4.2.1.3.

В заключение следует отметить, что илы с небольшой степенью вспухания, если их еще удастся отделить во вторичном отстойнике, дают более чистую воду с меньшим содержанием тонкой взвеси, чем нормальные илы. Это объясняется тем, что волокнистая структура ила работает как сетка, на которой задерживается тонкая взвесь, обычно покидающая очистное сооружение вместе с очищенной водой.

4.2.4. Основные технологические параметры процесса аэробной очистки. Время пребывания t' определяется отношением объема аэротенка V к приточной воды Q_0 (см. рис. 4.18):

$$t' = V/Q_0. \quad (4.46)$$

При таком определении времени пребывания не учитывается рециркуляция активного ила. Для смеси сточной воды с возвратным илом Q_s время пребывания

$$t'_s = V/Q_s. \quad (4.47)$$

Если Q_r — приток возвратного ила, то $Q_s = Q_r + Q_0 = Q_0(1 + Q_r/Q_0)$. Отношение Q_r/Q_0 обозначает степень рециркуляции R , тогда

$$t'_s = V/[Q_0(1+R)] = t'/(1+R). \quad (4.48)$$

Нагрузка на объем аэротенка Z определяется как количество массы субстрата, приходящееся на 1 м³ аэротенка в сутки; она вычисляется по формуле

$$Z = 24 Q_0 S_0 / V = 24 S_0 / t', \quad (4.49)$$

где S_0 — концентрация субстрата в сточной воде, выраженная чаще всего величинами БПК₅ или ХПК, а Q_0 измеряется в м³/ч.

Нагрузка на объем не зависит от рециркуляции, поэтому в формулу (4.49) можно подставить время пребывания из формулы (4.46). Мощность аэротенка ΔZ определяется как количество массы субстрата, удаленное в 1 м³ аэротенка за сутки. Таким образом,

$$\Delta Z = 24(S_0 - S_2)/t' = 24 \Delta S/t', \quad (4.50)$$

где S_2 — концентрация растворенного субстрата в очищенной воде (выражается в БПК₅ или ХПК); $\Delta S = S_0 - S_2$.

Нагрузка на ил Z_k определяется как количество субстрата, поступающее за сутки на 1 кг сухого или беззольного ила. Она вычисляется по формуле

$$Z_k = 24 Q_0 S_0 / V X = 24 S_0 / X t' = Z/X \quad (4.51)$$

или

$$Z_k = Z/X p_o,$$

где X — концентрация сухого ила в аэротенке; p_o — содержание органического вещества в сухом иле.

Возраст ила A определяется отношением массы сухого ила в аэротенке к массе сухого ила, удаляемого в качестве избыточного ила за сутки:

$$A = \frac{XV + M}{X_w Q_w + X_2 (Q_o - Q_w)}, \quad (4.52)$$

где X_w — концентрация сухого избыточного ила; Q_w — объем избыточного ила, удаляемого из системы за 1 сут; X_2 — концентрация взвешенных веществ в воде после вторичного отстойника; M — масса ила во вторичном отстойнике, подводящих желобах и трубах; Q_o выражается в м³/сут.

Иловый индекс KJ представляет собой объем в мл, который занимает 1 г сухого ила после полу часового отстаивания:

$$KJ = 10P/X, \quad (4.53)$$

где P — объем ила после осаждения в течение 0,5 ч, отнесенный к начальному объему, %; X — концентрация сухого ила, кг/м³.

Эффективность очистки

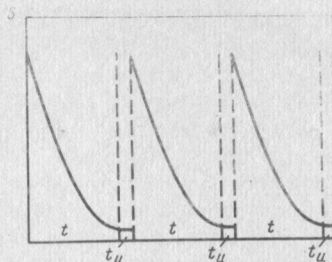
$$E = [(S_o - S_2)/S_o] 100. \quad (4.54)$$

4.2.5. Основные способы культивации активного ила. С точки зрения практического использования процесс аэробной очистки подразделяют на ряд технологических модификаций, например, на аэробную очистку с низкой нагрузкой, средней нагрузкой, высокой нагрузкой, с отдельной регенерацией ила и т.д. С точки зрения теории используемых реакторов можно говорить о четырех технологических схемах: одноразовая система (циклическая, периодическая), полунепрерывная система, непрерывная система с поршневым потоком и непрерывная система, основанная на принципе идеального перемешивания.

4.2.5.1. Одноразовая (циклическая) система. Раствор субстрата (например сточная вода) смешивается с активным илом, и смесь аэрируется. В процессе аэрирования количество субстрата убывает от первоначального значения S_o до величины S_t , зависящей от продолжительности аэрации. Одновременно с убыванием субстрата наблюдается рост биомассы от первоначального значения X_o до величины X_t . Для однокомпонентного субстрата в зависимости от начального соотношения S_o/X_o получим ряд функций, изображенных на рис.4.8 и 4.10. В случае многокомпонентных субстратов (практически все сточные воды) снижение ХПК и БПК₅ и прирост биомассы происходят всегда нелинейно. Скорость удаления субстрата зависит от окисляющей способности активного ила. Активность ила в данной системе зависит от его предыстории (типа субстрата, использовавшегося в предыдущем цикле, способа культивации, возраста и нагрузки на ил и т.п.).

Для рассматриваемой системы характерно, что микроорганизмы находятся в среде с постоянно меняющейся концентрацией субстрата. Характерной чертой этой системы является также то, что через определенный промежуток времени, обычно после израсходования субстрата, культивация заканчивается и весь процесс прекращается. Практического применения для очистки сточных вод эта система не имеет, хотя широко используется в лабораториях для исследовательских работ. Следует подчеркнуть, что к результатам (особенно исследования кинетики), полученным при одно-

Рис.4.24. Графическое изображение нескольких последовательных циклов удаления субстрата при полунепрерывной культивации



разовой культивации, необходимо подходить осмотрительно и интерпретировать их с большой осторожностью. Эти результаты всегда зависят от предыстории смешанной культуры, использованной в работе.

Если скорости удаления субстрата и роста биомассы постоянны, постоянна и скорость потребления кислорода. Если же эти скорости снижаются или повышаются во время культивации, скорость расходования кислорода тоже соответственно снижается или повышается.

4.2.5.2. Полунепрерывная система. Полунепрерывную культивацию можно представить как повторяющийся во времени одноразовый процесс. Его осуществляют, отбирая через определенные промежутки времени часть биомассы и культуральной жидкости, а содержимое резервуара дополняя свежим раствором субстрата. Если повторять эти операции в течение произвольного периода при постоянной длительности культивации и постоянном количестве отбираемой биомассы и культуральной жидкости, то реализуется технологическая схема, называемая полунепрерывной культивацией или полунепрерывной системой.

В начале каждого цикла аэрирования субстрат с концентрацией S_0 смешивается с оставшейся в резервуаре жидкостью, где концентрация субстрата S_t . Если t достаточно велико, то обычно $S_t \ll S_0$. Поэтому результирующая смесь в начале цикла аэрирования имеет концентрацию субстрата S_s , которая всегда ниже S_0 (соответствующая формула для вычисления S_s будет приведена ниже). В ходе аэрирования концентрация субстрата падает от первоначального значения S_s до величины S_t . Последняя зависит от продолжительности аэрации t_a и концентрации и активности смешанной культуры. Несколько следующих один за другим циклов изображены на рис.4.24, где время t_u означает длительность осаждения. В описанной системе микроорганизмы тоже находятся в среде с изменяющейся концентрацией субстрата. Отличие от одноразовой культивации состоит в том, что предыстория смешанной культуры неотделима от самого процесса. Активность и физиологическое состояние культуры формируются непосредственно в процессе и являются производными состава субстрата и технологических параметров, при которых работает полунепрерывная система.

Полунепрерывная система представляет значительный теоретический интерес в связи с ее близостью к непрерывной системе и идеальным поршневым потоком. Поскольку идеальная система с поршневым потоком практически нереализуема, полунепрерывная система используется в лабораторных экспериментах для моделирования условий, в которых работала бы непрерывная система с поршневым потоком. Процессы, которые в непрерывной системе проходили бы в пространстве и времени, в полунепрерывной системе проходят во времени. Кроме того, полунепрерывную систему с циклом 24 ч (23+1) часто используют в лабораторном масштабе, когда для

различных целей (например, при изучении кинетики, способности различных органических соединений к биохимическому разложению и т.д.) требуется каждый день получать новый избыточный ил. Реализация этой системы очень проста, не требует ни монтажа дозирующих устройств, ни оборудования для рециркуляции ила, ни вторичного отстойника. Системы с другой длительностью цикла (например, 5+1) можно полностью автоматизировать, поэтому они просты в обслуживании.

Принцип полунепрерывной культивации находит применение и при очистке сточных вод. Здесь возможны разные варианты в зависимости от того, используется один реактор или два и больше. Если используется один резервуар, в котором ил стабилизируется за счет аэрации, рабочий цикл состоит из трех операций — аэрации, осаждения и разгрузки. Рабочий цикл начинается с того, что аэротенк с концентрированным илом объемом V_k заполняют сточной водой в течение времени t_a при постоянной аэрации. По истечении этого времени аэрация автоматически прекращается, и активный ил осаждается в течение времени t_u . Желательно, чтобы в этот период приток сточной воды в резервуар был минимальным (ночные часы). После осаждения ила (обычно $t_u = 1$ ч) за короткое время жидкость из аэротенка откачивается до остаточного объема V_k , и весь цикл повторяется снова. В ЧССР по такому принципу работает система под названием Сигма-моноблок, во Франции — Т.Ф.Диапак-система. Если в технологическую схему включены параллельно две или три емкости, то в них можно чередовать отдельные операции. Например, один резервуар наполняется и аэрируется, в другом проходит осаждение, а третий опоражнивается. В США эта система называется Sequencing Batch Reactor Technology. При непрерывном поступлении сточной воды в резервуар концентрация субстрата в резервуаре, тем не менее, практически остается постоянной в течение всего периода аэрации. Это происходит благодаря значительному разбавлению сточной воды иловой жидкостью и быстрому удалению органического загрязнения.

Для скорости потребления кислорода в течение одного цикла действительны те же закономерности, что и для однократной системы.

4.2.5.3. Непрерывная система с поршневым потоком. В этой системе аэротенк имеет форму длинного коридора длиной несколько десятков метров с относительно небольшой площадью поперечного сечения. Сточная вода с концентрацией субстрата S_0 смешивается с возвратным илом и смесь поступает в аэротенк, где аэрируется. По мере прохождения через реактор концентрация субстрата постепенно уменьшается от начального значения S_0 до значения S_2 на выходе, которое зависит от длины коридора. После аэротенка вода поступает во вторичный отстойник, где ил отделяется от жидкой фазы и снова подается на вход в аэротенк. С возвратным илом рециркулирует также часть воды с концентрацией субстрата S_2 , которая после смешивания со свежей порцией сточной воды снижает концентрацию субстрата в ней от первоначальной величины S_0 до величины S_s . Если известны скорости потоков Q_0 и Q_r , величину S_s можно вычислить из уравнения материального баланса:

$$S_0 Q_0 + S_2 Q_r = S_s (Q_0 + Q_r),$$

откуда

$$S_s = \frac{(S_0 + S_2 R)}{(1 + R)}, \quad (4.55)$$

где $R = Q_r / Q_0$ — степень рециркуляции.

Для этой системы также характерен контакт смешанной культуры с субстратом, концентрация которого непрерывно меняется. Один проход через аэротенк соответствует одному циклу аэрации в одноразовой системе культивации. Отличие от одноразовой системы, как и в случае полунепрерывной системы, состоит в том, что генерирование ила является частью процесса. Схема следующих друг за другом процессов аналогична схеме полунепрерывного процесса (рис. 4.24). Время t_u в данном случае представляет собой отрезок времени, в течение которого активный ил находится вне аэротенка. Разница между этой системой и полунепрерывной заключается в том, что полунепрерывная система отражает соотношения при поршневом, т.е. идеальном потоке, в то время как последовательный поток неидеален, поскольку в нем происходит продольное перемешивание с различной степенью диспергирования хлопьев.

Степень продольного перемешивания можно выразить коэффициентом дисперсии. При этом продольное перемешивание в аэротенках уподобляют диффузионному процессу [27]. "Диффузионная модель" исходит из аналогии между продольным перемешиванием и молекулярной диффузией. Таким образом, процесс продольного перемешивания можно описать уравнением, аналогичным математическому выражению второго закона Фика для молекулярной диффузии. При условии равномерной интенсивности обратного перемешивания можно составить уравнение

$$\partial C / \partial t = D(\partial^2 C / \partial x^2), \quad (4.56)$$

где D — коэффициент продольной дисперсии, однозначно характеризующий степень продольного перемешивания в потоке жидкости; C — концентрация наблюдаемого вещества; x — удаленность данной точки от входа в аэротенк; t — время.

Материальный баланс потока растворенного вещества через поперечное сечение аэротенка приводит к дифференциальному уравнению [27]

$$D(\partial^2 C / \partial x^2) - u(\partial C / \partial x) - \partial C / \partial t = 0, \quad (4.57)$$

где u — объемная скорость потока через аэротенк.

Решение этого уравнения для вещества-маркера (в аэротенке не реагирующего) приводит к уравнению общего вида

$$C / C_0 = F(D, u, L, t), \quad (4.58)$$

где C — концентрация наблюдаемого вещества в момент времени t ; C_0 — расчетная концентрация этого вещества; L — длина аэротенка.

Функцию (4.58) можно выразить также с помощью безразмерных величин

$$C / C_0 = F(D / uL, t / \bar{t}), \quad (4.59)$$

где D / uL — так называемое дисперсионное число данного раствора; \bar{t} — теоретическое время пребывания, равное отношению объема реактора к расходу потока.

Дисперсионное число может иметь значения от нуля для идеального потока без перемешивания (на практике нереализуемого) до бесконечности для системы с идеальным перемешиванием (на практике реализуемого). Это число представляет собой величину, обратную аксиальному числу Пекле для массопередачи. На рис. 4.25 представлена зависимость отношения C / C_0 от

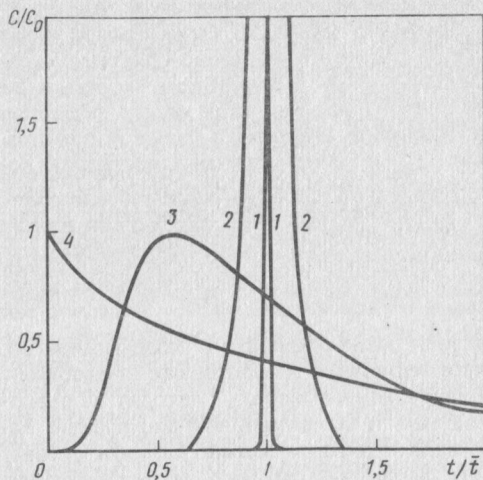


Рис. 4.25. Графическое изображение функции (4.59) для различных значений дисперсионного числа

1 — идеальный поток без продольного перемешивания ($D/uL=0$); 2 — малая степень дисперсии ($D/uL=0,02$); 3 — большая степень дисперсии ($D/uL=0,2$); 4 — идеальное перемешивание ($D/uL=\infty$)

отношения t/\bar{t} для различных значений дисперсионного числа [27]. Кривые на рис. 4.25 можно назвать гидравлической характеристикой аэротенка.

В реакторах с поршневым потоком, как и при циклическом и полунепрерывном вариантах, с уменьшением скорости удаления многокомпонентного субстрата уменьшается и скорость потребления кислорода.

4.2.5.4. Непрерывная система, работающая с идеальным перемешиванием.

Сточная вода с концентрацией субстрата S_0 поступает в аэротенк отдельно от возвратного ила. Перемешивание идет уже в резервуаре, который интенсивно аэрируется. Тщательное и быстрое перемешивание поступающей на очистку сточной воды с остальным содержимым аэротенка обеспечивает практически одинаковый состав жидкости в любой точке резервуара, поэтому концентрация субстрата в вытекающей из аэротенка воде S_2 равна концентрации субстрата во всем объеме аэротенка. Активный ил проходит в аэротенке-смесителе те же циклы развития, что и в аэротенке с поршневым потоком. Основное различие заключается в том, что активный ил находится в среде с практически постоянной концентрацией субстрата S_2 .

Гидравлическая характеристика аэротенка-смесителя представлена на рис. 4.25. Поскольку скорость удаления субстрата во всем объеме аэротенка одинакова, то и скорость потребления кислорода одинакова по всему объему, что является преимуществом системы с перемешиванием. Другое преимущество состоит в том, что при разбавлении поступающей сточной воды используется весь объем аэротенка. Это имеет большое значение главным образом при очистке производственных сточных вод с высокой концентрацией органических загрязнений и стоков, содержащих соединения, которые, хотя и легко подвергаются биохимическому разложению, в больших концентрациях токсичны для микроорганизмов активного ила (например, фенол, формальдегид и т.д.).

Система с перемешиванием имеет и свои недостатки. Один из них состоит в том, что вследствие моментального перемешивания поступающей сточной воды со всем содержимым аэротенка наступает "проскок", в результате чего небольшая часть сточной воды практически не задерживается в аэротенке и вытекает из него неочищенной. Однако никогда не отмечалось, чтобы

эффективность очистки в аэротенках-смесителях была ниже, чем в аэротенках с системой коридоров (см. п.4.2.2).

Экспериментально доказанный недостаток очистки в аэротенках-смесителях заключается в том, что в них размножаются нежелательные нитчатые микроорганизмы. Особенно это проявляется при очистке сточных вод, содержащих сахарады.

4.2.6. Генерирование биомассы и активного ила. При очистке сточных вод очень важно знать хотя бы приблизительно, какая часть удаляемых органических веществ расходуется на синтез клеток и какая — на окисление. Синтез в аэробной очистке означает прирост биомассы. Вновь образовавшуюся биомассу можно назвать вторичным, или биологическим, илом. Помимо растворенных органических соединений большинство сточных вод даже после предварительного осаждения еще содержит взвешенные вещества, которые могут быть как органического, так и неорганического происхождения. Эти взвешенные вещества как подвергающиеся, так и не подвергающиеся биохимическому разложению, далее будут называться первичным илом. В аэротенке первичный ил скапливается и вместе со вторичным илом образует смесь, которая в практике водоочистки носит название активного ила.

Прежде чем приступить к оценке баланса этой сравнительно сложной системы, проведем расчет упрощенной системы, в которой сточные воды не содержат взвешенных веществ.

4.2.6.1. Расчет концентрации и количества биомассы в аэротенке. Если значение БПК₅ исходной сточной воды равно S_0 , а очищенной S_2 (см. рис. 4.18), то материальный баланс биомассы запишется в следующем виде:

$$\left[\begin{array}{c} \text{изменение} \\ \text{в аэротен-} \\ \text{ке} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{прирост} \\ \text{биомас-} \\ \text{сы} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{убыль} \\ \text{за счет} \\ \text{лизиса} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{убыль} \\ \text{за счет} \\ \text{отбора} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{вынос с} \\ \text{очищен-} \\ \text{ной водой} \end{array} \right].$$

Поскольку прирост биомассы возможен только при одновременном расходе субстрата, можно написать:

$$\frac{dX_b}{dt} = -Y \frac{dS}{dt} = \frac{(S_0 - S_2) Q_0}{V} Y_b, \quad (4.60)$$

где Y_b — коэффициент продуцирования суммарной биомассы, кг/кг; X_b — концентрация суммарной биомассы в аэротенке, кг/м³; V — объем аэротенка, м³; Q_0 — расход сточной воды, м³/сут.

Убыль биомассы за счет разложения описывается уравнением

$$dX_b/dt = -k_b X_b, \quad (4.61)$$

где k_b — константа скорости разложения суммарной биомассы, сут⁻¹

Тогда

$$V \frac{dX_b}{dt} = Y_b (S_0 - S_2) Q_0 - k_b X_b V - X_{bw} Q_w - X_{b2} (Q_0 - Q_w), \quad (4.62)$$

где X_{bw} — концентрация отбираемой избыточной биомассы, кг/м³; X_{b2} — концентрация биомассы в воде после вторичного отстойника, кг/м³; Q_w — количество избыточной биомассы, м³/сут.

Левую и правую части уравнения (4.62) поделим на V , вместо V/Q_0 подставим время пребывания t' , а $S_0 - S_2$ обозначим через ΔS :

$$\frac{dX_b}{dt} = Y_b \frac{\Delta S}{t'} - k_b X_b - \frac{X_{bw} Q_w + X_{b2} (Q_0 - Q_w)}{V}. \quad (4.63)$$

В равновесном состоянии $dX/dt = 0$, а поскольку, если пренебречь величиной M , согласно уравнению (4.52) получим

$$\frac{X_b}{A} = \frac{X_{bw} Q_w + X_{bz} (Q_o - Q_w)}{V}, \quad (4.64)$$

то

$$0 = Y_b \frac{\Delta S}{t'} - k'_b X_b - \frac{X_b}{A}, \quad (4.65)$$

где A — возраст биомассы, сут.

Решая последнее уравнение относительно X , получим:

$$X_b = \frac{Y_b A \Delta S}{t' (1 + k_b A)}. \quad (4.66)$$

Это уравнение описывает зависимость концентрации биомассы в аэротенке от времени пребывания t' , возраста ила A и количества окисленных веществ по БПК₅. Если величины t' , A и ΔS постоянны, то постоянна и величина X . Если в течение суток эти величины колеблются, как это бывает на большинстве станций очистки сточных вод, колеблется и величина X около вычисленного значения.

Преобразованием уравнения (4.66) получим зависимость между возрастом биомассы и сниженной нагрузкой на биомассу (удельной скоростью удаления субстрата):

$$\frac{1}{A} = Y_b \frac{\Delta S}{t' X_b} - k_b = Y_b \Delta Z_b - k_b. \quad (4.67)$$

Это уравнение можно использовать для вычисления констант Y_b и k_b . В системе координат $X = \Delta Z_b$ и $Y = 1/A$ получим прямую с угловым коэффициентом Y_b , пересекающую ось координат в точке $-k_b$. На рис. 4.26 представлены зависимости $1/A$ от ΔZ_b для субстрата, концентрация которого выражена величинами БПК₅ и ХПК. Вычисленные значения констант таковы: $Y_b = 0,68$ кг/кг, $k_b = 0,03$ (БПК₅) и $Y_b = 0,40$ кг/кг, $k_b = 0,03$ (ХПК). Из примера видно, что абсолютные значения константы k_b не зависят от того, в каких единицах — ХПК или БПК₅ — выражается содержание субстрата.

Из уравнения (4.66) можно получить уравнение для вычисления продукции биомассы. Если пренебречь количеством биомассы, находящейся во вторичном отстойнике и в подводящих желобах и трубах, то возраст ила можно выразить отношением

$$A = X_b / \Delta X_b, \quad (4.68)$$

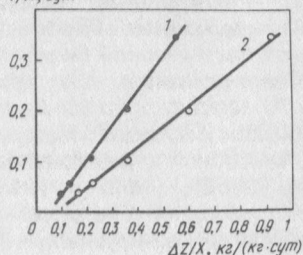
где ΔX_b — суточный прирост биомассы в 1 м³ аэротенка, который в равновесном состоянии отбирается в виде избыточной биомассы, включая суспендированные вещества в воде после вторичного отстойника.

Если в уравнение (4.66) вместо A подставить выражение (4.68), то после преобразования получим уравнение для вычисления ΔX_b :

$$\Delta X_b = Y_b \Delta Z - k_b X_b, \quad (4.69)$$

где ΔZ — мощность аэротенка, равная $\Delta S/t'$

Рис.4.26. Графическое изображение уравнения (4.67) $1/A, \text{сут}^{-1}$
1 — для БПК₅; 2 — для ХПК



Преобразуя уравнение (4.69), получим зависимость

$$\Delta X_b / \Delta Z = Y_b - k_b / \Delta Z_b, \quad (4.70)$$

где $\Delta Z_b = \Delta Z / X_b$ — сниженная нагрузка на биомассу.

Отношение $\Delta X_b / \Delta Z$ выражается в тех же единицах, что и коэффициент продуцирования биомассы Y_b . Оно дает действительную продукцию биомассы, или выход биомассы, и далее будет обозначаться символом \bar{Y}_b . Тогда

$$\bar{Y}_b = Y_b - k_b / \Delta Z_b. \quad (4.71)$$

Объединяя выражения (4.67) и (4.68) и проведя преобразования, получим зависимость

$$\bar{Y}_b = Y_b / (1 + k_b A). \quad (4.72)$$

Уравнения (4.71) и (4.72) описывают зависимость выхода биомассы от нагрузки на биомассу и ее возраста.

Приведенные выше уравнения справедливы при условии, что вся биомасса способна к аэробному разложению. Это означает, что для $A \rightarrow \infty \bar{Y}_b \rightarrow 0$ [уравнение (4.72)] или что для $\Delta Z_b = 0,044 \text{ кг}/(\text{кг} \cdot \text{сут})$, $Y_b = 0,68 \text{ кг}/\text{кг}$ и $k_b = 0,03$ $\bar{Y}_b = 0$ [уравнение (4.71)]. Однако на практике такая ситуация никогда не наблюдалась, напротив, было найдено, что часть вновь образовавшейся биомассы в аэробных условиях не разлагается. Поэтому материальный баланс следует составлять отдельно для разлагающейся и неразлагающейся биомассы.

Общую биомассу с концентрацией X_b можно разделить на три составляющих — органическую, подвергающуюся разложению (C_{2R}), органическую, не подвергающуюся разложению (C_{2N}), и минеральную (C_{2M}):

$$X_b = C_{2R} + C_{2N} + C_{2M}. \quad (4.73)$$

Из этих компонентов биохимическому разложению подвергается только C_{2R} согласно уравнению

$$dC_{2R}/dt = -k_d C_{2R}, \quad (4.74)$$

где k_d — константа скорости распада части биомассы, подвергающейся биологическому разложению.

Если Y_b — коэффициент продуцирования органической биомассы, то βY_b — коэффициент продуцирования неразлагающейся биомассы, а

$(1-\beta)Y_o$ — коэффициент продуцирования части органической биомассы, способной к разложению. Величина β показывает, какая часть вновь образовавшейся органической биомассы в аэробных условиях не разлагается. Если из системы удалено ΔS растворенного субстрата, то за счет этого образуется $Y_o \Delta S$ органической и $[P_a^o / (100 - P_a^o)] Y_o \Delta S$ минеральной части биомассы. Материальный баланс, составленный для части биомассы, способной к разложению, приводит к уравнениям, аналогичным уравнениям (4.62), (4.63) и (4.65). Поскольку при равновесном состоянии возраст суммарной биомассы одинаков для всех ее составных частей, можно написать уравнение, аналогичное уравнению (4.65):

$$(1-\beta)Y_o \Delta S / t' - k_d C_{2R} - C_{2R} / A = 0. \quad (4.75)$$

Решая его относительно C_{2R} , получим:

$$C_{2R} = (1-\beta)Y_o A \Delta S / t' (1+k_d A). \quad (4.76)$$

Из уравнения материального баланса для части биомассы, не подвергающейся аэробному разложению, выпадает член, отражающий убыль за счет разложения, поэтому

$$\beta Y_o \Delta S / t' - C_{2N} / A = 0. \quad (4.77)$$

Решая его относительно C_{2N} , получим

$$C_{2N} = \beta Y_o A \Delta S / t'. \quad (4.78)$$

При составлении материального баланса минерального компонента исходим из предположения, что доля золы во вновь образовавшихся клетках равна P_a^o

$$P_a^o / (1-P_a^o) - Y_o \Delta S / t' - C_{2M} / A = 0. \quad (4.79)$$

Решая это уравнение относительно C_{2M} , получим:

$$C_{2M} = P_a^o / (1-P_a^o) - Y_o A \Delta S / t'. \quad (4.80)$$

Для общего количества биомассы получим выражение

$$\begin{aligned} X_b &= C_{2R} + C_{2N} + C_{2M} = \frac{(1-\beta)Y_o A \Delta S}{t'(1+k_d A)} + \frac{\beta Y_o A \Delta S}{t'} + \frac{P_a^o}{1-P_a^o} \frac{Y_o A \Delta S}{t'} = \\ &= \frac{Y_o A \Delta S}{t'} \left(\frac{1+\beta k_d A}{1+k_d A} + \frac{P_a^o}{1-P_a^o} \right). \end{aligned} \quad (4.81)$$

Концентрация органической биомассы

$$X_o = \frac{Y_o A \Delta S}{t'} \left(\frac{1+\beta k_d A}{1+k_d A} \right). \quad (4.82)$$

Из уравнения (4.82) можно вывести зависимость между выходом органической биомассы \bar{Y}_o и возрастом смешанной культуры:

$$\bar{Y}_o = Y_o (1+\beta k_d A) / (1+k_d A). \quad (4.83)$$

Уравнение (4.83) отличается от уравнения (4.72) тем, что в нем учтена часть биомассы, не подвергающейся аэробному разложению. Из уравнения (4.83) при $A \rightarrow \infty$ следует $\bar{Y}_0 \rightarrow \beta Y_0$.

В заключение рассмотрим области применения приведенных выше формул. Для систем, имеющих небольшой возраст смешанной культуры ($A < 10$ сут) при расчетах можно использовать формулы (4.66), (4.67), (4.69) и (4.72). Значения констант Y_0 и k_0 для конкретной сточной воды известного состава лучше всего определить опытным путем. Для приблизительной оценки можно использовать, например, следующие значения:

$Y_0 = 0,70$ кг/кг (отнесено к Δ БПК₅ и общему сухому остатку),

$k_0 = 0,03$;

$Y_0 = 0,65$ кг/кг (отнесено к Δ БПК₅ и сухому беззольному остатку), $k_0 = 0,05$;

$Y_0 = 0,40$ кг/кг (отнесено к Δ ХПК и общему сухому остатку),

$k_0 = 0,03$;

$Y_0 = 0,38$ кг/кг (отнесено к Δ ХПК и сухому беззольному остатку), $k_0 = 0,05$.

Для систем, имеющих большой возраст смешанной культуры ($A > 10$ сут), использование приведенных выше формул приводит к ошибкам, потому что относительный вклад неразлагающейся части β биомассы уже становится заметным. В этом случае вычисления следует производить с использованием формул (4.81) — (4.83). Можно принять следующие значения констант:

$Y_0 = 0,65$ кг/кг, $P_0^0 = 0,05$; $\beta = 0,22$ и $k_a = 0,15 \cdot 1,047^{T-20}$;
 Y_0 отнесено к Δ БПК₅ и беззольному сухому остатку.

4.2.6.2. Расчет концентрации и количества активного ила. Большинство сточных вод содержит взвешенные вещества, задерживающиеся в аэротенке и образующие вместе с вторичным илом (биомассой) смесь, которую называют активным илом. Если взвешенные вещества подвергаются биологическому распаду, их количество учитывается при групповом определении БПК₅, поэтому не будет большой ошибки, если их не учитывать в материальном балансе. При составлении суммарного баланса важно учесть биологически инертные вещества, как органические, так и неорганические. Пусть их концентрация в поступающей на очистку воде C_{i0} , а в аэротенке при равновесном состоянии C_i . Общая сухая масса активного ила в аэротенке X_c будет состоять из сухого остатка биомассы X_b и сухого остатка инертного первичного ила C_i :

$$X_c = X_b + C_i. \quad (4.84)$$

Материальный баланс инертных взвешенных веществ выглядит следующим образом:

$$\left[\begin{array}{c} \text{изменение} \\ \text{в аэротен-} \\ \text{ке} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{поступление} \\ \text{со сточной во-} \\ \text{дой} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{убыль} \\ \text{за счет} \\ \text{отбора} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{вынос с очи-} \\ \text{щенной водой} \end{array} \right];$$

$$V \frac{dC_i}{dt} = Q_0 C_{i0} - Q_w C_{iw} - (Q_0 - Q_w) C_{i2}.$$

Разделив левую и правую части равенства на V и подставив вместо V/Q_0 время пребывания, получим:

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{C_{i0}}{t'} \frac{Q_w C_{iw} + (Q_0 - Q_w) C_{i2}}{V}. \quad (4.85)$$

При равновесном состоянии $dC_i/dt = 0$, и поскольку второй член правой части уравнения (4.85) становится равным C_i/A , где A — возраст инертных веществ, который, как можно доказать, равен возрасту биомассы и сухого остатка ила, можно написать:

$$0 = C_{i0}/t' - C_i/A. \quad (4.86)$$

Отсюда

$$C_i = C_{i0}(A/t').$$

Концентрация общего сухого активного ила

$$X_c = X_b + C_i = Y_b A \Delta S / [t'(1 + k_b A)] + C_{i0} A / t'. \quad (4.87)$$

Для систем с большим возрастом ила

$$X_c = \frac{Y_o A \Delta S}{t'} \left(\frac{1 + \beta k_d A}{1 + k_d A} + \frac{P_a^o}{1 - P_a^o} \right) + C_{i0} \frac{A}{t'}. \quad (4.88)$$

Ниже приведен обычный способ составления материального баланса первичных взвешенных веществ. Как и при расчете биомассы, первичные взвешенные вещества можно разделить на три составляющие: органическую, подвергающуюся разложению (C_{oR}), органическую, не подвергающуюся биохимическому распаду в аэробных условиях (C_{oN}), и минеральную (C_{oM}):

$$C_o = C_{oR} + C_{oN} + C_{oM}. \quad (4.89)$$

Если общая концентрация первичных взвешенных веществ в сточной воде C_o , доля, приходящаяся на органические вещества, P_o , а из этой доли не подвергается биохимическому распаду часть α , то для отдельных составляющих первичного ила можно написать:

$$C_{oR} = (1 - \alpha) P_o C_o; \quad (4.90)$$

$$C_{oN} = \alpha P_o C_o; \quad (4.91)$$

$$C_{oM} = (1 - P_o) C_o. \quad (4.92)$$

Равновесные концентрации этих составляющих в аэротенке C_{iR} , C_{iN} и C_{iM} можно вычислить из уравнения материального баланса. Биохимическому разложению подвергается лишь одна составляющая согласно уравнению

$$dC_{iR}/dt = -k_c C_{iR}, \quad (4.93)$$

где k_c — константа скорости распада способной к разложению части первичного ила.

Уравнение материального баланса для этого компонента первичного ила приводит к зависимостям типа (4.62), (4.63) и (4.65). Поскольку при равновесном состоянии системы возраст всего ила и его отдельных компонентов одинаков, то можно записать:

$$(1 - \alpha) P_o C_o / t' - k_c C_{iR} - C_{iR} / A = 0. \quad (4.94)$$

Решая это уравнение относительно C_{1R} , получим:

$$C_{1R} = (1-\alpha)p_o C_o / t'(1+k_c A). \quad (4.95)$$

В уравнении материального баланса для инертного органического компонента первичного ила отсутствует член, предусматривающий его убыль за счет разложения, поэтому

$$\alpha p_o C_o / t' - C_{1N} / A = 0. \quad (4.96)$$

Решая это уравнение относительно C_{1N} , получим:

$$C_{1N} = \alpha p_o C_o A / t'. \quad (4.97)$$

Материальный баланс минерального компонента первичного ила приводит к уравнению

$$(1-p_o)C_o / t' - C_{1M} / A = 0. \quad (4.98)$$

Решая это уравнение относительно C_{1M} , получим

$$C_{1M} = (1-p_o)C_o A / t'. \quad (4.99)$$

Таким образом, суммарную концентрацию первичного ила в аэротенке можно выразить формулой

$$\begin{aligned} C_1 = C_{1R} + C_{1N} + C_{1M} &= \frac{(1-\alpha)p_o C_o A}{t'(1+k_c A)} + \frac{\alpha p_o C_o A}{t'} + \frac{(1-p_o)C_o A}{t'} = \\ &= \frac{p_o C_o A}{t'} \left(\frac{1+\alpha k_c A}{1+k_c A} + \frac{1-p_o}{p_o} \right). \end{aligned} \quad (4.100)$$

Концентрацию общего сухого активного ила в аэротенке получим, сложив выражения (4.81) и (4.100):

$$X_c = X_b + C_1 = \frac{Y_o A \Delta S}{t'} \left(\frac{1+\beta k_d A}{1+k_d A} + \frac{P_a^o}{1-P_a^o} \right) + \frac{p_o C_o A}{t'} \left(\frac{1+\alpha k_c A}{1+k_c A} + \frac{1-p_o}{p_o} \right). \quad (4.101)$$

Значения констант Y_o, β, P_a^o и k_d приведены ранее, а значения констант p_o, α и k_c будут зависеть от характера первичных взвешенных веществ. Для первичного ила городских сточных вод найдены следующие значения: $p_o=0,7$; $\alpha=0,3$ и $k_c=0,09 \cdot 1,082^{T-20}$.

Концентрация инертных взвешенных веществ определяется выражением

$$C_{i0} = C_{ON} + C_{OM}. \quad (4.102)$$

Подставляя в уравнение (4.102) вместо C_{ON} и C_{OM} соответствующие выражения из уравнений (4.91) и (4.92), получим

$$C_{i0} = \alpha p_o C_o + (1-p_o)C_o = C_o (\alpha p_o + 1 - p_o). \quad (4.103)$$

Например, для первичного ила городских стоков

$$C_{i0} = C_o (0,3 \cdot 0,7 + 1 - 0,7) = 0,51 C_o.$$

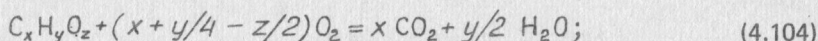
Это означает, что первичный ил городских сточных вод содержит примерно 50% инертных веществ, не разлагающихся в условиях аэробной биологической очистки.

В производственных сточных водах содержание инертных веществ колеблется в очень широких пределах, и его всегда следует определять опытным путем.

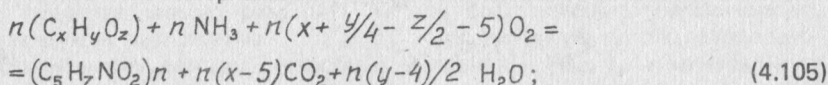
4.2.7. Расход кислорода и воздуха. Для проведения аэробных биологических процессов необходимо обеспечить подачу кислорода. Чтобы эти процессы проходили в оптимальных условиях, скорость подачи кислорода должна быть больше или равна скорости его потребления.

4.2.7.1. Реакции в аэротенке, связанные с потреблением кислорода. Содержимое аэротенки аэрируют с помощью сжатого воздуха или с использованием механических аэраторов. Реакции в аэротенке, в ходе которых расходуется кислород, можно в общем виде изобразить следующими схематическими уравнениями.

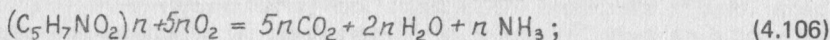
Окисление органических веществ:



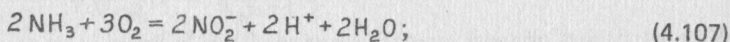
синтез клеточного материала:



автоокисление клеточного материала:



процессы нитрификации



В зависимости от технологических параметров процесса и концентраций ионов аммония потребление кислорода в процессе нитрификации может достигать до 25% общего потребления кислорода.

Формула клеточного материала $C_5 H_7 NO_2$ не является химической формулой в настоящем смысле этого слова. Она только отражает соотношение наиболее важных элементов, составляющих органическую биомассу активного ила. Из уравнения (4.106) следует, что на окисление 1 кг органической биомассы расходуется 1,42 кг кислорода. Величина этого кислородного эквивалента зависит от химического состава биомассы и на практике колеблется от 1,3 до 1,5 кг/кг.

Скорость расходования кислорода в реакциях, представленных уравнениями (4.104) и (4.105), в 10–20 раз выше, чем скорость его расходования в реакции автоокисления по уравнению (4.106). Первые два уравнения отображают окисление экзогенного субстрата, а третье уравнение — эндогенного.

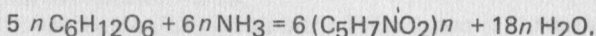
Согласно уравнению (4.105) при синтезе биомассы также расходуется кислород. Обычно количество этого кислорода зависит от разницы между средней степенью окисления углерода (ССОУ) в биомассе и экзогенном

субстрате. Для субстратов известного состава значение ССОУ вычисляют по формуле (4.19), а для смеси органических веществ в сточных водах — по формуле (4.20).

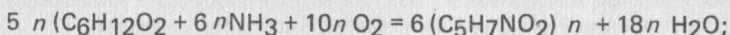
Значение ССОУ биомассы, имеющей общую формулу $C_5H_7NO_2$, вычисленное в соответствии с уравнением (4.106), равно:

$$ССОУ = 4 - 2 (10n/5n) = 0.$$

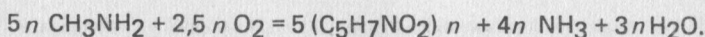
Это означает, что ССОУ биомассы равна нулю. Отсюда следует, что для синтеза биомассы с использованием субстратов, значение ССОУ которых равно нулю, не требуется кислорода. Например, для глюкозы (ССОУ = 0)



Все субстраты с отрицательным значением ССОУ будут нуждаться при синтезе биомассы в определенном количестве кислорода. Например, капроновая кислота (ССОУ = -1,33):

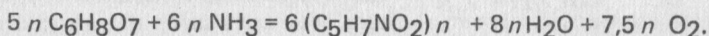


метиламин (ССОУ = -2,0):



В этом случае исходный субстрат содержит 45% азота, тогда как продукт синтеза (биомасса) — только 12,3%. Избыточный азот выделяется в раствор в виде ионов аммония, повышая значение pH среды.

Все субстраты с положительным значением ССОУ имеют в молекуле больше кислорода, чем его требуется для синтеза биомассы состава $C_5H_7NO_2$. Этот связанный в субстрате кислород используется затем в процессах окисления. Например, лимонная кислота (ССОУ = 1,0):



4.2.7.2. Расчет потребления кислорода. Из уравнений (4.104) — (4.106) следует, что общее потребление кислорода гетеротрофными организмами должно быть пропорционально количеству израсходованных органических веществ и количеству сухого ила в системе.

Расход кислорода в сутки в единице объема аэротенка можно выразить уравнением

$$r = Y' \Delta Z + k_r X_0, \quad (4.109)$$

где r — скорость потребления кислорода, $кг/(кг \cdot м^3 \cdot сут)$; ΔZ — мощность аэротенка, $кг/(м^3 \cdot сут)$; X_0 — концентрация сухого беззольного ила в аэротенке, $кг/м^3$; Y' — коэффициент, определяющий минимальную массу кислорода, необходимую для окисления 1 $кг$ разлагающихся в условиях аэробной очистки органических веществ (в долях кислорода), $кг/кг$; k_r — коэффициент скорости эндогенного окисления сухого беззольного ила, $кг/(кг \cdot сут)$.

Для вычисления коэффициентов Y' и k_r уравнение (4.109) целесообразно привести к виду

$$r/X_0 = Y' \Delta Z_k + k_r, \quad (4.110)$$

где r/X_0 — расход кислорода в сутки, отнесенный к 1 кг сухого беззольного ила; $\Delta Z_k = \Delta Z/X_0$ — нагрузка на ил в единицах снижения БПК₅.

В системе координат $y = r/X_0$ и $x = \Delta Z_k$ зависимость (4.110) представляет собой прямую с угловым коэффициентом Y' , пересекающую ось ординат в точке k_r .

Уравнение (4.109) можно переписать также в виде

$$\bar{Y}' = Y' + \frac{k_r}{\Delta Z_k}, \quad (4.111)$$

где $\bar{Y}' = r/\Delta Z_k$ — действительный расход кислорода на 1 кг удаленных органических веществ (в кислородных долях).

Из уравнения (4.111) следует, что коэффициент Y' дает минимальный расход кислорода на 1 кг удаляемого органического загрязнения в предельном случае, когда $\Delta Z_k \rightarrow \infty$. Реальное потребление кислорода \bar{Y}' всегда превышает значение Y' . Для городских сточных вод обычно $Y' = 0,5$ кг/кг (кислород на Δ БПК₅), а $k_r = 0,1$ кг/(кг · сут) (кислород на органическую биомассу).

4.2.7.3. *Переход кислорода в воду.* Кинетика абсорбции кислорода как газа, малорастворимого в воде, может быть описана уравнением

$$dC/dt = K_L a (C_s - C), \quad (4.112)$$

где $K_L a$ — суммарный объемный коэффициент растворения кислорода, ч⁻¹; C — моментальная концентрация кислорода, г/м³; C_s — растворимость кислорода в данных условиях.

Уравнение (4.112) описывает кинетику абсорбции кислорода водой только в том случае, если кислород не расходуется в ходе какой-либо реакции. Если же вследствие одновременно проходящей химической или биохимической реакции кислород удаляется из раствора, уравнение (4.112) принимает вид:

$$dC/dt = K_L a' (C_s' - C) - r, \quad (4.113)$$

где r — скорость расходования кислорода.

В аэротенке в заводских условиях r означает скорость окисления активного ила, $K_L a'$ — суммарный объемный коэффициент перехода кислорода в сточную воду, а C_s' — растворимость кислорода в сточной воде.

Уравнение (4.113) описывает кинетику абсорбции кислорода при одновременном его расходовании в неравновесном процессе. После установления равновесия $dC/dt = 0$, $C = C^*$ и уравнение (4.113) принимает вид

$$0 = K_L a' (C_s' - C^*) - r,$$

откуда

$$r = K_L a' (C_s' - C^*). \quad (4.114)$$

Если в выражение (4.113) вместо r подставить выражение (4.114), то после преобразования получим:

$$dC/dt = K_L a' (C^* - C). \quad (4.115)$$

Это уравнение похоже на уравнение (4.112); разница состоит в том, что в

предыдущем случае движущую силу процесса абсорбции определяла величина C_s , тогда как теперь — величина C^+ . Величину C'_s можно вычислить из уравнения (4.114):

$$C'_s = C^+ + r/K_L\alpha'. \quad (4.116)$$

4.2.7.4. Окислительная мощность. Кислород в аэротенк может подаваться с воздухом или в виде чистого газа. По способам диспергирования воздуха различают аэротенки с пневматической, механической и пневмомеханической аэрацией.

Чтобы охарактеризовать мощность аэратора и иметь возможность сравнивать аэраторы различных конструкций, в практике водоочистки пользуются понятием окислительной мощности.

Окислительная мощность аэратора есть количество кислорода, которое данное устройство способно подвести в единицу времени к единице объема данного резервуара при его нулевой начальной концентрации в резервуаре.

Согласно уравнению (4.112), при $C = 0$ окислительная мощность

$$OM = K_L a C_s. \quad (4.117)$$

Окислительная мощность в реальных условиях эксплуатации аэротенка определяется соотношением

$$OM' = K_L a' C'_s. \quad (4.118)$$

Для определения окислительной мощности OM и OM' аэратора необходимо знать коэффициент $K_L a$ или соответственно $K_L a'$ и величину C_s (соответственно C'_s). Коэффициенты $K_L a$ и $K_L a'$ теоретически вычислить нельзя, поэтому их всегда определяют опытным путем.

Описание способов определения этих коэффициентов выходит за рамки настоящей книги. Здесь мы ограничимся только кратким рассмотрением главных величин и факторов, влияющих на окислительную мощность OM пневматических и механических аэраторов.

При использовании пневматической аэрации такими факторами являются размеры воздушных пузырьков, высота водяного столба, интенсивность аэрации, нагрузка на аэратор и содержание органических веществ в воде. Все эти факторы влияют также на степень использования кислорода воздуха, которая в современных аэраторах при высоте водяного столба 4–6 м составляет от 5 до 15%.

При применении механической аэрации окислительная мощность зависит от глубины погружения, числа оборотов в 1 мин и содержания органических веществ в воде.

При обоих вариантах аэрации единственным фактором, не поддающимся регулированию, является содержание органических веществ в воде. Из органических веществ наибольшее влияние оказывают поверхностно-активные вещества (ПАВ). Это влияние может быть как положительным, так и отрицательным. Очень низкие концентрации ПАВ либо вообще не влияют на окислительную мощность, либо даже несколько увеличивают ее. Это связано с тем, что присутствие ПАВ приводит к образованию мелких пузырьков, в результате чего увеличивается поверхность раздела фаз. Большие концентрации ПАВ сказываются резко отрицательно. Значения $K_L a$ и OM при прочих равных условиях в сточной воде всегда ниже, чем в чистой. Это отражается коэффициентом α , определяемым отношением

$$\alpha = K_L a' / K_L a. \quad (4.119)$$

Было найдено, что коэффициент α в известной мере зависит от типа аэратора и степени турбулентности потока в аэротенке. В заводских условиях коэффициент меняется во времени в зависимости от качества поступающей на очистку сточной воды, а в аэротенках с системой коридоров коэффициент повышается в направлении от входа к выходу. Его значение колеблется в интервале от 0,5 до 0,9. Необходимо помнить, что аэраторы, отестированные на чистой воде, в аэротенках могут иметь OM , на 10–50% меньшую. Поскольку коэффициент α зависит не только от состава сточной воды, но и от типа и динамических характеристик аэраторов, его истинное значение практически невозможно определить в лабораторных экспериментах.

Поскольку коэффициент $K_L \alpha$ и растворимость кислорода C_s зависят от температуры, OM также зависит от нее. Эта зависимость, однако, не слишком явная, так как с ростом температуры растет $K_L \alpha$, но падает C_s , а OM , согласно уравнению (4.117), определяется их произведением. Тем не менее OM целесообразно стандартизировать. За стандартное принимается значение OM , найденное с использованием чистой воды и пересчитанное на 20°C. Для пересчета пользуются уравнением

$$(K_L a)_{20} = (K_L a)_T \vartheta^{20-T}, \quad (4.120)$$

где T — температура, °C.

Значение коэффициента ϑ колеблется от 1,02 до 1,05. Обычно оно зависит от типа аэратора и степени турбулентности в аэротенке. В системах с низкой турбулентностью влияние температуры на $K_L \alpha$ значительно, а в системах с высокой турбулентностью оно невелико.

Наконец, следует сказать несколько слов об экономичности аэраторов. Для сравнения экономичности введено понятие выхода кислорода на единицу энергии, определяемое соотношением

$$E^+ = OM/W, \quad (4.121)$$

где E^+ — выход кислорода, кг/(кВт · ч); W — расход электроэнергии, кВт · ч/(м³ · сут); OM выражена в кг/(м³ · сут).

Выход обычных аэраторов в средних производственных условиях колеблется от 1 до 2 кг/кВт · ч.

4.2.7.5. Расчет требуемой окислительной мощности и интенсивности аэрации. При проектировании аэротенков необходимо знать окислительную мощность, которую надо обеспечить в данном резервуаре при данных технологических параметрах. Эту величину можно вычислить. В аэротенк должно поступать столько кислорода, чтобы его хватало на процессы биохимического окисления, а концентрация растворенного кислорода в воде на выходе из аэротенка удерживалась бы на данном уровне. Обычно концентрация кислорода в очищенной воде задается равной 2 г/м³. Формулу для вычисления требуемой окислительной мощности получим из уравнения (4.114), умножив и разделив правую его часть на C'_s :

$$r = K_L \alpha' C'_s \frac{C' - C}{C'_s}. \quad (4.122)$$

Поскольку $K_L \alpha' C'_s = OM'$, из уравнения (4.122) следует:

$$OM' = r \frac{C'_s}{C'_s - C^+}. \quad (4.123)$$

Расход кислорода определяется соотношением (4.109), поэтому после подстановки Γ из уравнения (4.109) в уравнение (4.123) получим:

$$OM' = (\gamma' \Delta Z + k_r X_o) \frac{C'_s}{C'_s - C^+}, \quad (4.124)$$

где OM' выражена в $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$.

Уравнение (4.124) позволяет вычислить требуемую окислительную мощность для среднего притока. Чтобы обеспечить достаточное количество кислорода при максимальном притоке сточной воды, в уравнение (4.124) вместо ΔZ следует подставить $\Delta Z_{\text{макс}}$, равное

$$\Delta Z_{\text{макс}} = \Delta Z k_{\text{макс}} = 24 \Delta S / \theta k_{\text{макс}}, \quad (4.125)$$

где $k_{\text{макс}}$ — коэффициент среднечасовой неравномерности притока; θ — время пребывания, ч.

В формуле (4.124) значение C^+ обычно принимают равным $2 \text{ г}/\text{м}^3$. При вычислении C'_s следует учитывать изменение давления, а следовательно, и растворимость кислорода. Вычисление растворимости с поправкой на давление производят по формуле

$$(C_s)'_k = C_s (p_a + 0,5 p_h) / p_o, \quad (4.126)$$

где C_s — табличное значение растворимости кислорода при данной температуре и стандартном давлении, $\text{г}/\text{м}^3$; p_o , p_a и p_h — соответственно стандартное, атмосферное и гидростатическое (определяемое высотой водяного столба) давление, МПа.

Вычисленное таким образом значение растворимости подставляем в уравнение (4.124). Если известна требуемая окислительная мощность, можно вычислить необходимую интенсивность аэрации по формуле:

$$J_v = OM' / 3 \alpha, \quad (4.127)$$

где OM' выражена в $\text{г}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$; α — степень использования кислорода воздуха, %.

Если OM' выражена в $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$, то используют формулу

$$J_v = 13,9 (OM' / \alpha). \quad (4.128)$$

В формулах (4.127) и (4.128) учтено, что 1 м^3 воздуха в стандартных условиях имеет массу $1,293 \text{ кг}$ и содержит 23% кислорода по массе, т.е. примерно 300 г .

Список литературы

1. Лейте В. Определение органических загрязнений питьевых, природных и сточных вод. М., Химия, 1975.
2. Chudoba J., Zeis K. Acta hydrochim. hydrobiol. 3,3,275 (1975).
3. Chudoba J., Pitter P., Maděra V. Chem. průmysl 19,2,76 (1969).
4. Chudoba J., Dalešický J. Water Res. 7,5,663 (1973).
5. Dobbs R.A., Williams R.T. Anal. Chem. 35,8,1064 (1963).
6. Busch A.W. Sewage Ind. Wastes 30, 11, 1336 (1958).
7. McKinney R.E. Microbiology for Sanitary Engineers. New York, McGraw-Hill, 1962.

8. Ballinger S.G., Lishka R.J. J.Wat.Pollut.Control Fed. 34, 5,470 (1962).
9. Heukelekian H., Rand M.C. Sewage Ind. Wastes 27,9,1040 (1955).
10. Rogovskaja C.I. Vodosnab. i sanit Tech. No 5, 20 (1971).
11. Siddiqi R.H. et al. J.Wat.Pollut.Control Fed. 39, 579 (1967).
12. Montromery H.A.C., Borne B.J. J.Inst.Sew.Purif. P4, 357 (1966).
13. Pitter P. Hydrochemie. SNTL, Praha 1971.
14. Ricker D.A., Hunter J.V. Water Res. 5, 421 (1971).
15. Pitter P. Vodni hosp. 29, 12, 308 (1979).
16. Голубовская Е.К. Биологические основы очистки воды. М., Высшая школа, 1978.
17. Speece R.E., Engelbrecht R.S., Aukamp D.R. Water Res. 7, 361 (1973).
18. Monod J. La croissance des cultures bacteriennes. Hermann et Cie, Paris 1942.
19. Перт С. Основы культивирования микроорганизмов и клеток. М., Мир, 1978.
20. Stárka J. Fysiologie a biochemie mikrobů. SPN, Praha 1959.
21. Chudoba J., Grau P., Ottová V. Water Res. 7, 1389 (1973).
22. Chudoba J., Ottová V., Maděra V. Water Res. 7, 1163 (1973).
23. Chudoba J., Dohányos M., Grau P. Wat. Sci.Tech. 14, 73 (1982).
24. Tomlinson E.J., Chambers B. The effect of longitudinal mixing on the settleability of activated sludge. Water Res. Centre, TR 122, Stevenage 1979.
25. Tischler F.T., Eckenfelder W.W. Proc. 4th Ind. Conf. on Water Pollut. Res. Pap. No. 11j4, Praha 1969.
26. Grau P., Dohányos M., Chudoba J. Water Res. 9, 637 (1975).
27. Levenspiel O. Teorie a výpočty chemických reaktorů. SNTL, Praha 1967.
28. Tuček F., Chudoba J. Water Res. 3, 559 (1969).
29. Toerber E.D., Paulson W.L., Smith H.S. J.Wat.Pollut. Control Fed. 46, 8, 1995 (1974).
30. Kroiss H., Ruider E. Prog. Wat.Tech. 8, 6, 169 (1977).
31. Arden E., Lockett W.T. J.Soc.Chem.Ind. 33, 523 a 1122 (1914).
32. Crabtree K. et al. Appl. Microbiol. 13, 218 (1965).
33. Pavoni I.L., Tenney M.W., Echelberger W.F. J.Wat.Pollut.Control Fed. 44, 3, 414 (1972).
34. Chao A.C., Keinath T.M. Water Res. 13, 1213 (1979).
35. Gulas V., Bond M., Benefield L. J.Wat.Pollut.Control Fed. 51, 4 799 (1979).
36. Magara Y., Nawbu S., Utosowa K. Water Res. 10, 1, 71 (1976).
37. Heukelekian H. Ind. Eng. Chem. 41, 7, 1412 (1949).
38. Bisogni J.J., Lawrence A.W. Water Res. 5, 753 (1971).
39. Pipes W.O. J.Wat.Pollut.Control Fed. 41, 5, 714 (1969).
40. Heukelekian H., Weisberg H. Sewage Ind.Wastes 28, 558 (1956).
41. Ford D.L., Eckenfelder W.W. J.Wat.Pollut. Control Fed. 39 11, 1850 (1967).

5. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ

Химия и технология производства синтетических лекарственных средств достаточно подробно описана в литературе [1]. В этой главе рассмотрен ряд типичных для отрасли предприятий по производству синтетических лекарственных препаратов с точки зрения состава образующихся сточных вод и их обработки.

На каждом из функционируемых химико-фармацевтических предприятий имеются системы по обработке сточных вод и отходов производства. Состав этих систем зависит от характера загрязнений в стоках, их количества, условий канализования, места расположения предприятия, наличия канализационной системы и очистных сооружений в данном районе, промышленном узле, городе и т.д.

Ниже приведены примеры канализования и обработки сточных вод ряда предприятий по производству синтетических лекарственных препаратов.

5.1. ПРЕДПРИЯТИЕ № 1

Предприятие одновременно производит синтетические лекарственные препараты пуринового ряда, сульфаниламидные препараты и антипиретики. Наибольший удельный вес приходится на выпуск сульфаниламидных препаратов, производство которых состоит из различных стадий синтеза, требующих значительных расходов воды и образующих сточные воды, загрязненные химическими веществами и полупродуктами.

В процессе производства образуются различные категории сточных вод. Основными компонентами загрязненных стоков являются органические соединения, минеральные кислоты и соли, растворители, следы готовых лекарственных продуктов и полупродуктов.

Одновременно со сточными водами от основных технологических процессов образуются стоки от мытья полов производственных помещений, мойки оборудования, подсобных помещений и т.п., которые также могут быть отнесены к разряду загрязненных. Из них наиболее загрязненные сточные воды, маточные растворы и кубовые остатки локализуются у мест образования. Степень их загрязненности трудноокисляемыми органическими веществами и различными солями столь велика, что они не могут быть переданы в канализационную сеть для последующей биологической очистки и сброса в водоем. Обычно количество таких токсичных стоков составляет около 15% общего объема. Состав локализованных маточных растворов и кубовых остатков дан в табл. 5.1.

В соответствии с принятым разделением типов сточных вод на предприятии функционируют сети канализации токсичных, загрязненных и бытовых стоков. Токсичные стоки собираются в цехах и насосами по трубопроводам, проложенным на эстакадах, поступают в узел термического уничтожения отходов производства, где сжигаются в циклонных топках.

Загрязненные стоки собираются системой канализационных трубопроводов и самотеком поступают на локальные очистные сооружения предприятия. После очистки эти стоки передаются в коллектор городской канализации. Бытовые стоки также поступают в коллектор городской канализации.

Образующиеся от отдельных аппаратов и технологических стадий загрязненные сточные воды по количеству и составу исключительно неоднородны.

Это объясняется тем, что технологический процесс в основном проводится в аппаратах периодического действия. Время проведения химического процесса в аппаратах составляет от нескольких минут до десятков часов. В процессе работы предприятия относительно стабильными по количеству и составу могут считаться сточные воды, усредненные в течение 24 ч.

Ниже приведена характеристика усредненных в течение суток загрязненных сточных вод предприятия до их нейтрализации (за исключением маточных растворов и кубовых остатков, перечисленных в табл. 5.1):

Окраска	светло-желтая
Порог разбавления, при котором окраска исчезает	1:95
Запах	ароматических соединений
Порог разбавления, при котором запах исчезает	1:25
pH	2
ХПК, мг/л	1 900
БПК _{полн} , мг/л	1 050
Хлориды, мг/л	920
Сульфаты, мг/л	780
Сухой остаток, мг/л	4 000
Прокаленный остаток, мг/л	3 200
Метанол, мг/л	42
Формальдегид, мг/л	3,6
Нитраты, мг/л	0,6
Соли цинка, мг/л	3,2

Таблица 5.1

Показатели	Маточные растворы					
	нитрозо-антипирина производ-ва амидо-пирина	произ-водст-ва сульфохло-рида	произ-водст-ва ди-хлор-пири-дина	производ-ства изо-мера пури-нового ряда	изонитрозоура-цила производ-ства препара-тов пуринового ряда	Zn-содер-жащих производ-ва препара-тов пури-нового ряда
Окраска	Темно-зеленая	Бес-цвет-ная	Свет-ло-зе-леная	Крепкого чая	Темно-красная	Розовая
Порог разбавления, при котором окраска исчезает	1:250	—	1:50	1:250	1:250	1:50
Запах	Специ-фический	Специ-фический	Растворителя	Специ-фический	Специфический	Специ-фический
Порог разбавления, при котором запах исчезает	1:100	1:14	1:40	1:20	1:10	1:10
Прозрачность, см	4,5	30	20	3,25	3	10
pH	2,7	0,6	3,5	2,0	4,7	0,7
ХПК _{бихр} , мг/л	63890	2560	98500	462550	22970	12910
Хлориды, мг/л	72	15000	7730	93220	6740	—
Сульфаты, мг/л	270	2270	30	2370	2440	2490
Сухой остаток, мг/л	40270	—	23950	399400	52690	228290
Прокаленный остаток, мг/л	15000	275	9100	159250	11230	5280
Азот общий, мг/л	840	650	3370	37980	1430	—
Взвешенные вещества, мг/л	33	—	113	221	76	101
Фосфор, мг/л	—	—	—	12	—	—
Зольность взвешенных веществ, %	37	—	4	39	21	23

Сточные воды приведенного состава перед сбросом в городскую канализацию проходят на общезаводских сооружениях предварительную очистку, состоящую из усреднения, известкования, отстаивания. Схема сооружений предварительной очистки приведена на рис. 5.1. Товарная негашеная известь поступает на очистные сооружения по железной дороге в специальных вагонах 1, ссыпается в приемный бункер 2 шнековым питателем 3 и с помощью ленточного транспортера 4 подается на склад извести 5. Грейферный кран 6 подает комовую известь через бункер 7 в термомеханическую известгасилку 8, откуда гашеная известь в виде теста 80%-ной влажности по лотку 9 поступает в растворо-расходный бак 10, где приготавливается 10%-ное известковое молоко. Насосом 11 известковое молоко перекачивается в дозатор 12, а затем в смеситель 13. Загрязненные сточные воды от цехов собираются в усреднитель 14 и насосом 15 равномерно в течение суток перекачиваются в смеситель 13, где смешиваются с известковым молоком и поступают в отстойник 16.

Сточные воды из отстойника насосом 17 равномерно в течение суток перекачиваются в коллектор городской канализации. Выпавший шлам — продукт нейтрализации — складывается в шламовой части отстойника. Периодически через 3—4 года шлам из отстойника вывозят на отведенную территорию за городской чертой.

Ниже приведены характеристики сточных вод после их предварительной очистки на общезаводских сооружениях при дозе извести около 1,5 кг на 1 м³ по CaO, усреднении не менее 24 ч и отстаивании не менее 2 ч.

Окраска	светло-желтая
Порог разбавления, при котором окраска исчезает	1:80
Запах	ароматических соединений
Порог разбавления, при котором запах исчезает	1:22
pH	8,5
ХПК, мг/л	1 700
БПК _{полн} , мг/л	935
Хлориды, мг/л	900
Сульфаты, мг/л	830
Сухой остаток, мг/л	5 000
Прокаленный остаток, мг/л	4 350
Формальдегид, мг/л	3,0
Нитраты, мг/л	0,5
Соли цинка, мг/л	2,1

На данных сооружениях сточные воды усредняются, нейтрализуются, освобождаются от грубых взвешенных частиц. В результате известкования несколько уменьшаются окраска и запах, значения ХПК и БПК_{полн} снижаются соответственно на 10 и 11%, содержание метанола — на 24%, формальдегида — на 17%, цинка — на 34%. Одновременно со снижением концентрации органических веществ за счет известкования в сточных водах несколько возрастает содержание солей; сухой и прокаленный остатки увеличиваются соответственно на 20 и 26%.

Проведенные во Всесоюзном научно-исследовательском химико-фармацевтическом институте исследования показали, что сточные воды химико-фармацевтического предприятия, состав которых приведен выше, после их предварительной очистки в смеси со сточными водами города могут поступать на городские сооружения биологической очистки. В табл. 5.2 дан состав городских сточных вод до их смешения, а также в смеси со стоками химико-фармацевтического предприятия при соотношении количества смешиваемых сточных вод предприятия и города около 1:16.

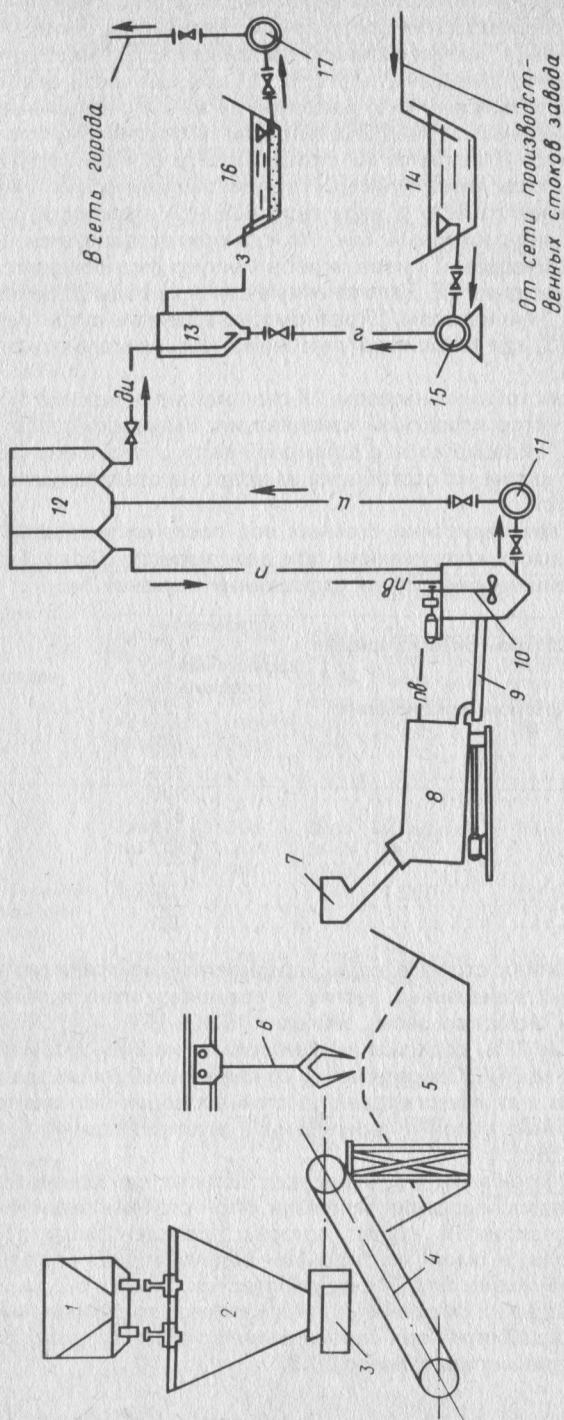


Рис. 5.1. Принципиальная схема предварительной очистки сточных вод

и — напорный трубопровод известкового молока; п — трубопровод дозированного известкового молока от ДИМБА; пв — трубопровод питьевой воды; 2 — подача усредненных стоков в смесители; 3 — сброс нейтрализованных стоков в отстойник

Таблица 5.2

Показатели	Значения показателей сточных вод	
	городских без учета стоков химико-фармацевтического предприятия	смеси сточных вод города и химико-фармацевтического предприятия в соотношении 1:16
Окраска	Светло-желтая	Желтая
Порог разбавления, при котором окраска исчезает	1:6	1:15
Запах	Специфический	Специфический
Порог разбавления, при котором запах исчезает	1:3	1:5
pH	7,4	7,7
Прозрачность, см	3	1,5
ХПК, мг/л	200	380
БПК _{полн} , мг/л	160	173
Взвешенные вещества, мг/л	140	110
Азот аммонийный, мг/л	1,2	27,0
Фосфаты, мг/л	64	6,0
Хлориды, мг/л	—	80

Установлено, что для полной биологической очистки смеси сточных вод города и химико-фармацевтического предприятия период пребывания сточных вод в аэротенке должен составлять около 16 ч. Очищенная смесь сточных вод города и предприятия, полученная при данном периоде аэрации, имеет следующий состав:

Окраска	желтая
Порог разбавления, при котором окраска исчезает	1:3
Запах	специфический
Порог разбавления, при котором запах исчезает	1:3
pH	7,8
Прозрачность, см	10,5
Взвешенные вещества, мг/л	12,0
Потери при прокаливании, мг/л	7,2
ХПК, мг/л	80,0
БПК _{полн} , мг/л	12,0
Азот общий, мг/л	25,0
Азот аммонийный, мг/л	20,0
Азот нитритов, мг/л	1,0
Азот нитратов, мг/л	0,95
Фосфаты, мг/л	3,0
Хлориды, мг/л	85,0

Основные технологические параметры работы сооружений биологической очистки сточных вод приведенного выше состава:

Продолжительность обработки воды в аэротенке, ч	16,5
ХПК неочищенных стоков, мг/л	380
БПК _{полн} неочищенных стоков, мг/л	173
ХПК очищенных стоков, мг/л	80
БПК _{полн} очищенных стоков, мг/л	12
Концентрация активного ила в аэротенке, г/л	2,0
Зольность ила, %	28
Иловый индекс, мг/л	75
Прирост ила от его массы в аэротенке, %	12
Окислительная мощность, мг БПК/(гбв · сут)*	167
Удельный расход воздуха, м ³ /м ³	25

* Единица "гбв · сут" означает грамм беззольного вещества ила в сутки.

Нагрузки на ил, мг БПК/(гбв · сут)	179
Эффект очистки по ХПК, %	79
Эффект очистки по БПК _{полн} , %	93

5.2. ПРЕДПРИЯТИЕ № 2

Предприятие производит различные синтетические лекарственные препараты, в том числе синтетические антибиотики, барбитуровые, пуриновые и салициловые препараты, антипиретики, полупродукты и др.

В процессе производства образуются сточные воды, кубовые остатки и маточные растворы следующего состава:

Плотность, г/см ³	1,015—1,06
Окраска	коричневая
Порог разбавления до исчезновения окраски	1:1 500
Запах	органических растворителей
Порог разбавления до исчезновения запаха	1:100
Взвешенные вещества, мг/л	350
pH	0,3—11,7
ХПК, мг/л	144 500
БПК _{полн} , мг/л	57 100
Отношение БПК _{полн} :ХПК, %	39,5
Сухой остаток, мг/л	170 500
Прокаленный остаток, мг/л	85 300
Азот-общий, мг/л	5 600
Азот аммонийный, мг/л	780
Сульфаты, мг/л	17 200
Хлориды, мг/л	17 700
Железо общее, мг/л	20

В связи с тем, что очистка сточных вод предприятия производится на городских очистных сооружениях, которые не в состоянии обрабатывать воды приведенного состава, на предприятии принята следующая система разделения и предварительной обработки стоков:

наиболее концентрированные сточные воды, маточные растворы и кубовые остатки, содержащие в своем составе токсичные и трудноокисляемые химические вещества, собираются в цехах и направляются по специальным трубопроводам, проложенным на эстакадах, в узел термического уничтожения отходов производства. Эти стоки не сбрасываются в канализационную сеть предприятия;

все прочие загрязненные сточные воды сбрасываются в сеть загрязненных стоков предприятия и направляются на общезаводские сооружения предварительной очистки, где проходят усреднение, известкование и отстаивание.

В качестве примера состав маточных растворов и кубовых остатков отдельных производств приведен в табл. 5.3. Их объем составляет около 15% общего количества образующихся загрязненных сточных вод.

Усредненные в течение суток загрязненные сточные воды предприятия до их нейтрализации, за исключением маточных растворов и кубовых остатков, имеют следующие характеристики:

Окраска	желтая
Порог разбавления до исчезновения окраски	1:55
Прозрачность, см	10
Запах	растворителей
Порог разбавления до исчезновения запаха	1:25
Взвешенные вещества, мг/л	136
pH	3,5
ХПК, мг/л	1 300

БПК _{полн} , мг/л	580
БПК _{полн} /ХПК, %	45
Сухой остаток, мг/л	2 580
Прокаленный остаток, мг/л	2 000
Азот общий, мг/л	100
Азот аммонийный, мг/л	40
Фосфор, мг/л	500
Сульфаты, мг/л	7,0
Хлориды, мг/л	340

Загрязнения стоков, указанные на с. 122, являются суммой загрязнений, содержащихся в маточных растворах и кубовых остатках, и загрязнений сточных вод, приведенных здесь.

Схема сооружений предварительной очистки сточных вод и термического уничтожения отходов производства приведена на рис. 5.2. Загрязненные сточные воды по трубопроводам поступают в усреднители 4, рассчитанные на суточное пребывание в них воды, и насосами, установленными на насосной станции 10, равномерно в течение суток подаются из усреднителей в приемную камеру с ершовым смесителем 1. В усреднителях применяется гидравлическое перемешивание стоков с помощью этих же насосов.

Перемешивание обеспечивается циркуляцией части сточных вод, забираемых из усреднителей. В приемную камеру подается 10%-ное известковое молоко, приготовляемое в цехе реагентного хозяйства 5. Сточные воды и известковое молоко через ершовый смеситель поступают в контактные резервуары 2 и горизонтальные отстойники 3, где образовавшийся шлам осаждается, а осветленные нейтрализованные сточные воды поступают в городскую сеть канализации. В процессе усреднения, известкования и отстаивания сточных вод вместе с нейтрализацией достигается частичное ослабление окраски и запаха и несколько снижается содержание взвешенных веществ. Значения ХПК и БПК_{полн} уменьшаются соответственно на 14 и 9%. Сточные воды после локальной очистки имеют следующие показатели:

Окраска	светло-желтая
Порог разбавления до исчезновения окраски	1:35
Прозрачность, см	10
Запах	специфический
Порог разбавления до исчезновения запаха	1:18
Взвешенные вещества, мг/л	85
pH	6,5—8,5
ХПК, мг/л	1 120
БПК _{полн} , мг/л	530
БПК _{полн} /ХПК, %	47
Сухой остаток, мг/л	2 730
Прокаленный остаток, мг/л	2 200
Азот общий, мг/л	75
Азот аммонийный, мг/л	30
Фосфор, мг/л	4,6
Сульфаты, мг/л	980
Хлориды, мг/л	330

Токсичные сточные воды, маточные растворы и кубовые остатки, состав которых от некоторых производств приведен в табл. 5.3, поступают в усреднители 6, в которых перемешиваются насосами, установленными на насосной станции 10. Этими же насосами стоки подаются в приемную камеру и ершовый смеситель 7. Туда же поступает 5%-ный раствор соды. Смешанные с содой в ершовом смесителе сточные воды проходят контактные резервуары 8 и отстойники 9. Освобожденные от грубых взвесей и нейтрализованные содой, токсичные стоки перекачиваются на установку термической обработ-

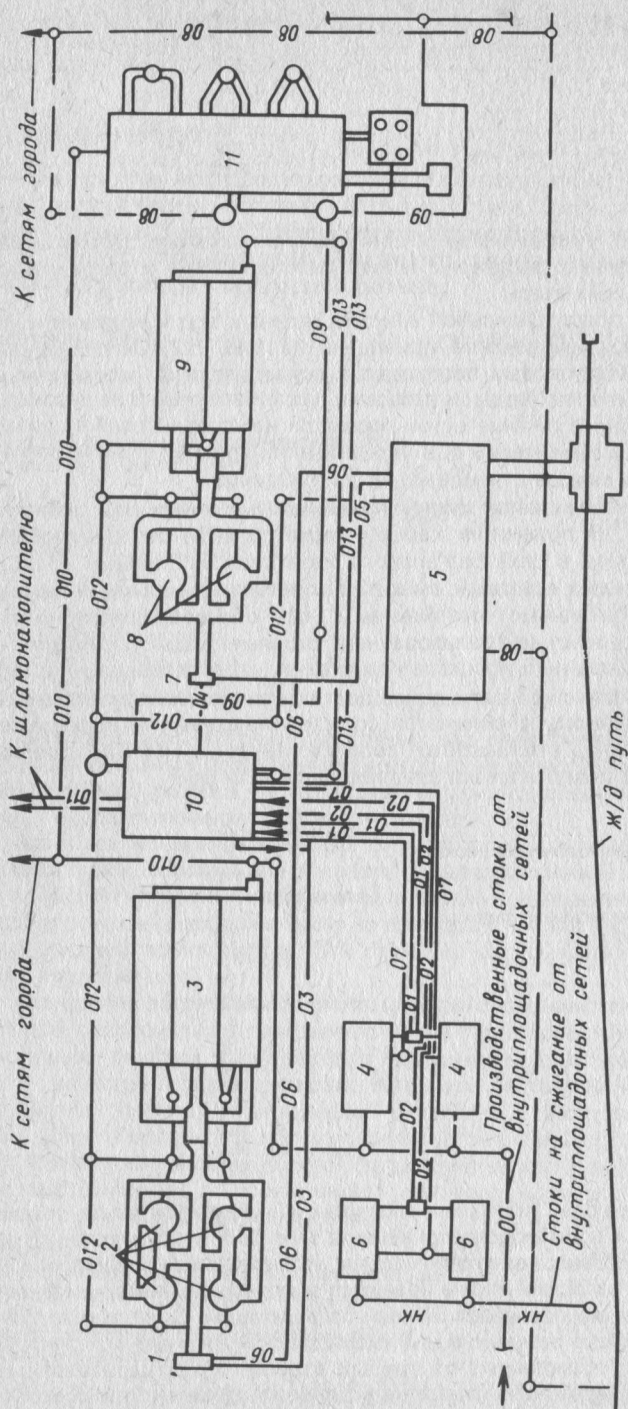


Рис.5.2. Схема сооруженной предварительной обработки сточных вод и отходов производства

00 — производственная канализация; 01 — всасывающий трубопровод производственных стоков; 02 — всасывающий трубопровод токсичных стоков; 03 — напорный трубопровод производственных стоков; 04 — напорный трубопровод токсичных стоков; 05 — трубопровод соды; 06 — трубопровод известкового молока; 07 — трубопровод перемешивания; 08 — хозяйственно-фекальная канализация; 09 — хозяйственно-питьевой водопровод; 010 — производственная канализация (локально очищенные стоки); 011 — напорный трубопровод шламовых вод; 012 — самотечный трубопровод шламовых вод; 013 — напорный трубопровод подачи токсичных стоков на установку сжигания; НК — напорная сеть канализации токсичных стоков

Таблица 5.3

Маточные растворы и кубовые остатки	Показатели							
	pH	ХПК, г/л	сухой остаток, г/л	прокаленный остаток, г/л	сульфаты, г/л	хлориды, г/л	бромиды, г/л	натрий, г/л
Производство антипиретиков								
Бензосульфокислого антипиретина	10	662	349	39	—	—	—	—
Нитрозоантипиретина	7	126,7	107	42	2,5	5	—	—
Динатриевой соли сульфаминоантипиретина	11,7	69	542	321	210	3	—	100
Монометиламиноантипиретина	5,5	288	254	200	130,5	6,6	—	54
Третичный анальгина	3,3	691	470	30	6,5	12,5	—	—
Производство сульфалена								
1,4-бис-пиперазина	8,4	15,3	185	128	4,4	69	—	—
2,3-дихлорпиперазина	10,0	13,7	183	167	13	115	—	—
2-сульфаниламида-3-хлорпиперазина	2,8	42	153	136	1,2	60,1	—	—
Сульфаметопиперазина	6,7	41,5	18,5	5,5	0,6	2,1	—	—
Производство малонового эфира								
Водно-щелочной слой	7,0	581	166	30	—	10	—	—
Вода со стадии этерификации	1,0	46,5	16,3	—	—	4,5	—	—
Кисловодный слой	8,0	44,5	42,7	31,4	—	22,8	—	—
Производство фенобарбитала								
Водный слой бромистого натрия	1,0	52,4	590	510	—	—	431	—
От разгонки этилового эфира фенол-этилциануксусной кислоты (1-я фракция)	6,0	99	—	—	—	—	—	—
Технического фенобарбитала	5,0	18,6	101	82	60,5	—	—	—
После отгонки изопропилового спирта и выделения фенобарбитала	8,0	706	11	6	—	—	—	—
Производство синтомицина								
Кетона	2,8	24	102	16	—	—	—	—
Хлоргидрата d, l-трео-амина	0,2	392	304,5	79	—	21	—	—
После выделения "основания"	12	306	58,5	26	—	13	—	—

ки 11. На станции, кроме извести, предусмотрено применение соды специально для нейтрализации токсичных стоков, направляемых на термическую обработку. Мощность реагентной станции составляет по извести до 20 т/сут, по соде — 5 т/сут, по воде — 2000 м³/сут.

Известь товарная комовая поступает на реагентную станцию по железной дороге, сода — на автомашинах. Компоновка основных узлов реагентной станции с размещением оборудования для складирования, хранения извести и соды и приготовления рабочих растворов показана на рис. 5.3. С помощью маневрового устройства 1 фиксируется положение железнодорожного вагона, из которого негашеная комовая известь III сорта выгружается в разгрузочный бункер 2 механической лопатой 3. Из бункера лотковым питателем 4 известь поступает на ленточный конвейер 5 для загрузки в молотковую дробилку 6. Раздробленная на мелкие фракции известь с помощью элеватора 7 сыпается в бункер-склад дробленой извести 8, оборудованный вибраторами. По мере необходимости дробленая известь из бункера маятниковым питателем 9 подается в шаровую мельницу 10 с классификатором и водоструйным насосом. Известковое тесто из мельницы по лотку поступает в резервуары, где доводится до 30%-ного известкового раствора, постоянно перемешиваемого с помощью мутилок 11, и насосами 12 перекачивается в резервуары 10%-ного известкового молока, которое в виде рабочего раствора насосами 13 подается в смеситель для известкования сточных вод.

Сода в бумажных мешках разгружается из автомашин на поддон, с помощью подвешенного крана перемещается на установку для высыпки соды из мешков, через течку сыпается в резервуары, куда подается вода и где готовится раствор соды необходимой крепости. Из растворо-расходных баков раствор соды насосами-дозаторами подается в смеситель токсичных стоков. Раствор в баках перемешивается с помощью сжатого воздуха по воздухоораспределительной системе от воздухоудвки.

Сточные воды приведенного на с. 123 состава поступают на городские сооружения полной биологической очистки. Состав сточных вод предприятия с учетом их разбавления городскими стоками дан в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Показатели	Значение показателей	
	до очистки	после очистки
Окраска	Светло-желтая	Бесцветная
Прозрачность, см	8,0	16,0
Запах	Специфический	Нет
pH	8,1	6,5
ХПК, мг/л	710	90
БПК _{полн} , мг/л	340	15
БПК _{полн} /ХПК, %	48	17
Сухой остаток, мг/л	1475	1160
Прокаленный остаток, мг/л	1090	1000
Азот общий, мг/л	143	30
Азот аммонийный, мг/л	30	5
Сульфаты, мг/л	406	400
Хлориды, мг/л	285	285

Технологические параметры работы сооружений полной биологической очистки для сточных вод приведенного в табл. 5.4 состава следующие:

Продолжительность обработки воды в аэротенке, ч	18
ХПК неочищенных стоков, мг/л	710
ХПК очищенного стока, мг/л	90

БПК _{полн} неочищенных стоков, мг/л	340
БПК _{полн} очищенных стоков, мг/л	15
Эффективность очистки по БПК _{полн} , %	96
Эффективность очистки по ХПК, %	87
Удельный расход воздуха, м ³ /м ³	25
Концентрация активного ила в аэротенке, г/л	2,0
Иловый индекс, мл/г	90
Прирост ила от его массы в аэротенке, %	5
Зольность ила, %	30
Окислительная мощность, мг БПК/ (гбв · сут)	310
Нагрузка на объем, г БПК/ (м ³ · сут)	453
Нагрузка на ил, мг БПК/ (гбв · сут)	324

Имеющиеся данные подтверждают возможность полной биологической очистки сточных вод химико-фармацевтических производств в смеси с городскими водами на общих очистных сооружениях. Основным условием в данном случае является изъятие из производственных сточных вод токсичных веществ, высококонцентрированных кубовых остатков и маточных растворов, а также предварительная нейтрализация стоков.

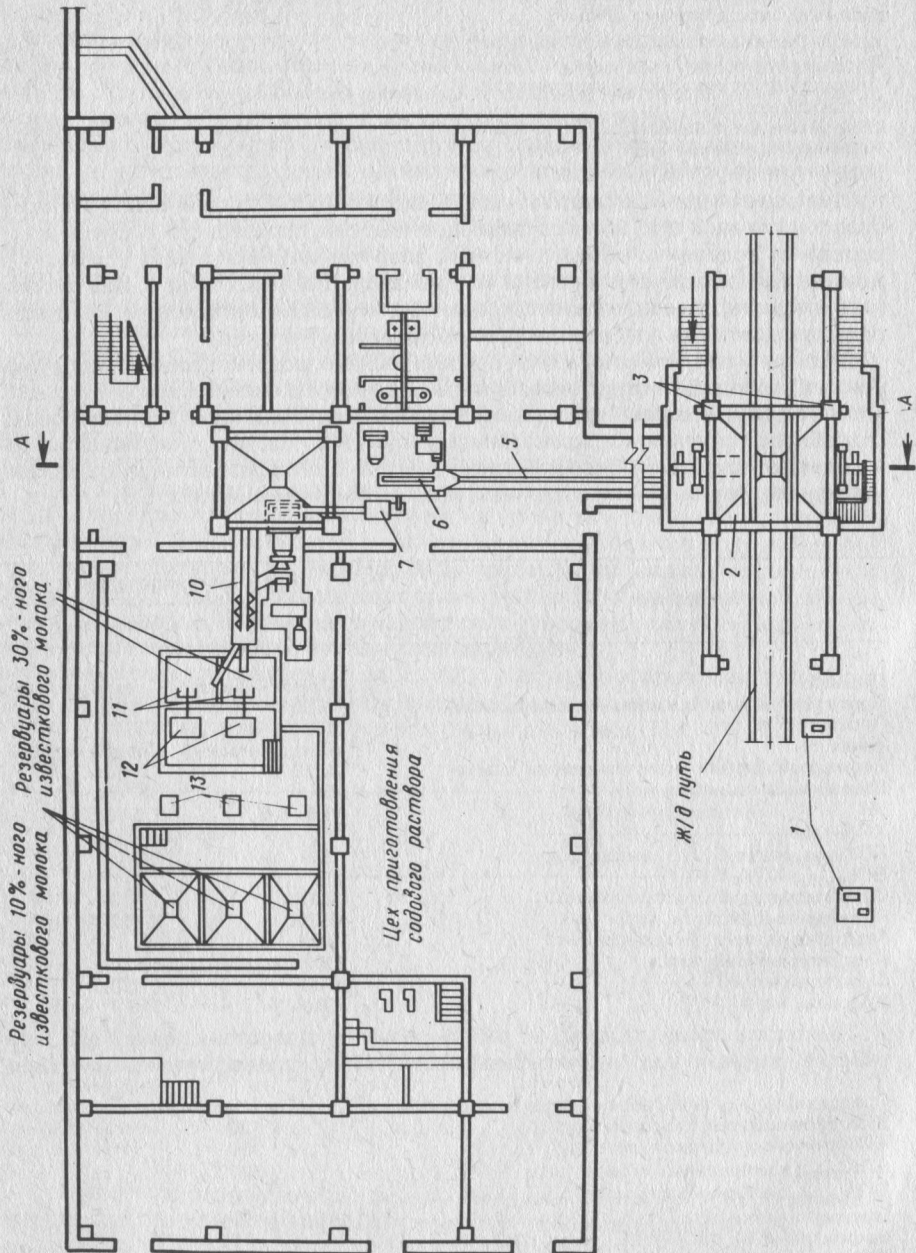
В связи с тем, что совместная очистка сточных вод на городских сооружениях обуславливает относительно малые скорости окисления и соответственно значительное время пребывания сточных вод в аэротенках, исследована способность сточных вод приведенного на с. 123 состава окисляться на локальных сооружениях биологической очистки без их разбавления городскими водами. Результаты проведенных исследований даны в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Показатели	Значение показателей	
	до очистки	после очистки
Окраска	Светло-желтая	Светло-желтая
Порог разбавления до исчезновения окраски	1:35	1:12
Прозрачность, см	10	15
Запах	Специфический	Специфический
Порог разбавления до исчезновения запаха	1:18	1:12
Взвешенные вещества, мг/л	85	35
pH	6,5—8,5	7,5—8,5
ХПК, мг/л	1 120	300
БПК _{полн} , мг/л	530	50
БПК _{полн} /ХПК, %	47	17
Сухой остаток, мг/л	2 730	2 700
Прокаленный остаток, мг/л	2 200	2 200
Азот общий, мг/л	75	35
Азот аммонийный, мг/л	30	15
Сульфаты, мг/л	980	1 020
Хлориды, мг/л	330	318

Технологические параметры работы опытного аэротенка-смесителя при очистке сточных вод химико-фармацевтического предприятия следующие:

Продолжительность обработки воды в аэротенке, ч	18
ХПК неочищенных стоков, мг/л	1 120
ХПК очищенных стоков, мг/л	300
БПК _{полн} неочищенных стоков, мг/л	530
БПК _{полн} очищенных стоков, мг/л	50
Эффект очистки по БПК, %	90
Эффект очистки по ХПК, %	73
Удельный расход воздуха, м ³ /м ³	50
Концентрация активного ила в аэротенке, г/л	2
Иловый индекс, мл/г	130



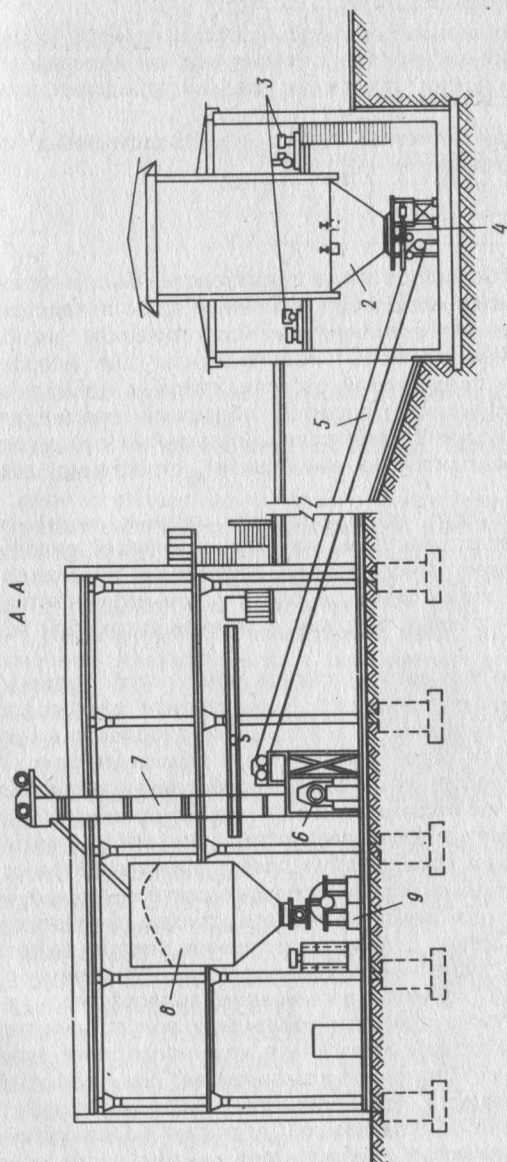


Рис. 5.3. Компоновка основных узлов реакгентной станции

Прирост ила от его массы в взростенке, %	8
Зольность ила, %	25
Окислительная мощность, мг БПК/ (гбв · сут)	424
Нагрузка по объему, г БПК/ (м ³ · сут)	707
Нагрузка по илу, мг БПК/ (гбв · сут)	471

Полученные экспериментальные результаты подтверждают целесообразность совместной биологической очистки сточных вод химико-фармацевтических производств и городских стоков на единых городских сооружениях.

Локальная биологическая очистка только производственных стоков не обеспечивает их полную очистку.

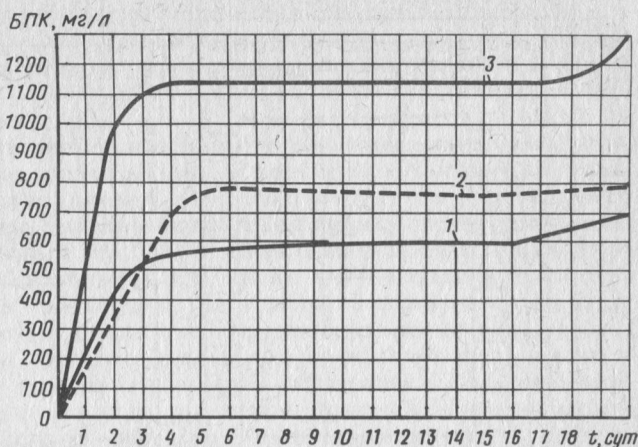
5.3. ПРЕДПРИЯТИЕ № 3

Предприятие состоит из большого числа производственных и вспомогательных цехов. Оно выпускает следующие основные виды лекарственных препаратов: сульфаниламидные, антипиретики, синтетические антибиотики, синтетические стероидные гормоны, полупродукты для использования в производстве других предприятий отрасли, готовые лекарственные формы. Выпускаемая продукция отличается обширной номенклатурой и большим объемом производства. Значительный удельный вес в готовой продукции предприятия приходится на амидопирин, стрептоцид, левомецетин.

Производство характеризуется использованием разных видов химического сырья, а также непостоянством выпуска отдельных видов продукции. Все это обуславливает многообразие возможных сочетаний производств по всему предприятию в целом, в связи с чем наблюдаются резкие колебания показателей сточных вод как в течение суток, так и в течение месяца и года.

В процессе производства каждого препарата образуются отходы, способы обезвреживания которых приводятся в регламенте данного препарата. Они характеризуются большим разнообразием входящих в них загрязняющих компонентов, как органических, так и неорганических. Твердые отходы производства представляют собой отработанный активированный уголь, шламы, гипс, обычно насыщенные смолистыми органическими веществами. Эти отходы вывозят в специально отведенное место и периодически сжигают. Жидкие отходы производства представляют собой в основном маточные растворы, кубовые остатки, солевые растворы и т.д. В зависимости от содержания в них компонентов эти отходы подвергают обработке непосредственно в цехах с целью извлечения ценных веществ и дальнейшего использования последних в производстве. Примерами рекуперативных процессов могут служить регенерация дихлорэтана, фенола из маточных растворов, отгонка спиртов, извлечение полупродуктов. Те жидкие отходы, обработка которых дорога или нецелесообразна вследствие низкого содержания присутствующих компонентов, сбрасывают в канализацию. Общий список веществ, содержащихся в жидких отходах производства, которые сбрасывают в канализацию, достигает более сотни различных наименований: органические растворители, в том числе спирты, эфиры, хлорпроизводные, смолистые вещества, кислоты, минеральные соли, готовые продукты. Вследствие многочисленности видов применяемого сырья и сложности технологических процессов изготовления препаратов сточные воды весьма разнообразны по количеству и составу и по концентрации могут быть отнесены к сильнозагрязненным.

Рис. 5.4. Кривые изменения БПК сточных вод для периодов
1 — зимнего; 2 — весенне-осеннего; 3 — летнего



Наряду с основными производственными стоками в каждом цехе образуются сточные воды от машинных отделений, от мытья полов производственных и подсобных помещений, промывки оборудования и тары, от лабораторий и т.д.

Сильнозагрязненные и просто загрязненные сточные воды отводятся в канализационную сеть, называемую канализацией производственных стоков. Общий сток предприятия представляет собой смесь производственных сточных вод, сбрасываемых в канализацию производственными цехами с непостоянным значением pH. Чаще всего, однако, общезаводской сток, усредненный в течение суток, имеет кислую реакцию. Окраска воды в основном желтая, иногда с зеленоватым оттенком, редко — зеленая. Вода мутная, при отстаивании муть полностью не исчезает, а выпадающий в небольшом количестве осадок имеет цвет от серо-черного до красно-кирпичного. Количество взвешенных веществ в сточной воде непостоянно, в среднесуточной пробе отмечаются колебания от 90 до 300 мг/л. Для сточной воды характерно высокое содержание сульфатов (до 2 800 мг/л) и хлоридов (1 600 мг/л).

В общем стоке завода присутствует большое количество органических веществ, описываемых такими характеристиками, как перманганатная окисляемость, БПК и ХПК. Обращает на себя внимание существенная разница в значениях окисляемости и ХПК, соответственно равных 130–850 и 1 400–5 500 мг/л, что свидетельствует о преобладании в стоке трудно-окисляемых химических соединений. Среднее значение БПК₅ общего стока составляет около 800 мг/л, БПК₂₀ = 1 000 мг/л при среднем ХПК = 2 500 мг/л. Таким образом, ХПК более чем в 3 раза выше БПК₅ и в 2,5 раза выше БПК₂₀. Кривые, определяющие изменение БПК для трех различных периодов отбора проб, показаны на рис. 5.4.

Общий производственный сток предприятия до его усреднения имеет следующие характеристики:

pH	2,0–9,5
Окисляемость, мг/л	130–850
БПК ₅ , мг/л	530–1 100
БПК ₁₀ , мг/л	700–1 300
ХПК, мг/л	1 400–5 500
Азот аммонийный, мг/л	30–170
Хлориды, мг/л	965–2 500

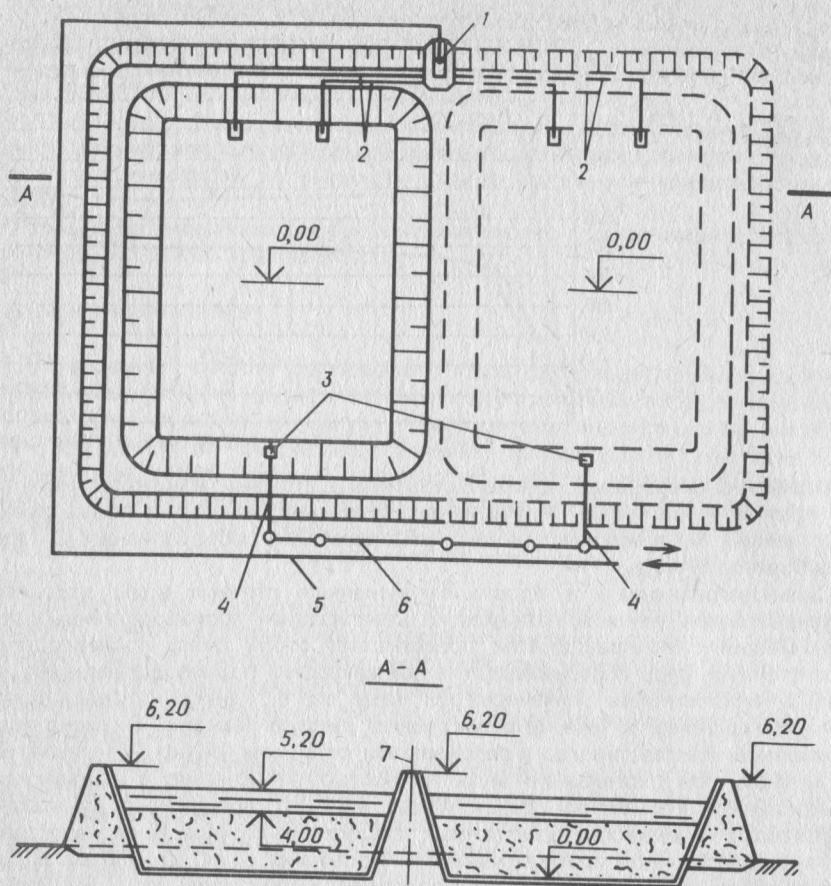


Рис.5.5. Шламонакопитель
 1 — камера переключения; 2 — разводящие шламопроводы; 3 — шахтный водосброс; 4 — служебный мостик; 5 — напорный шламопровод от шламовой насосной станции завода; 6 — осветленная вода, поступающая в сеть производственной канализации завода; 7 — ось раздельной дамбы

Сточные воды данного состава направляются на общезаводские локальные очистные сооружения, где они проходят усреднение и известкование. Объем усреднителя рассчитан на пребывание сточных вод в течение 18 ч. Средняя доза извести — $0,8 \text{ кг/м}^3$ сточной воды. После смешения с 10%-ным известковым молоком сточные воды направляются в шламонакопители, где продукт нейтрализации — шлам — отстаивается, уплотняется и накапливается в течение 10 лет. Осветленные стоки (верхний уровень) переливаются через водосливные окна шламонакопителя, оборудованные регулирующими шиберами, и собираются в отводной коллектор, смешиваются с бытовыми стоками предприятия и передаются в коллектор городской канализации, где в смеси со стоками города направляются на городские сооружения полной биологической очистки.

Время пребывания сточных вод в шламонакопителе с момента их пос-

тупления до перелива в отводной коллектор — 25 сут. Благодаря известкованию сточных вод и естественной аэрации при длительном пребывании в шламонакопителе с большим зеркалом воды концентрация окисляемых органических веществ снижается в среднем на 6–9%. Общий вид шламонакопителя показан на рис. 5.5.

Поскольку на предприятии отсутствует узел термической обработки, токсичные сточные воды, ряд маточных растворов и кубовых остатков сбрасываются в канализационные сети предприятия, что обуславливает более высокую степень загрязненности общей смеси всех усредненных производственных сточных вод, чем у ранее рассмотренных предприятий. В связи с этим, а также учитывая, что данные сточные воды должны сбрасываться в городскую канализацию, где в смеси со стоками города будут проходить биологическую очистку на городских очистных сооружениях, кафедра канализации Московского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева провела специальные исследования. Цель исследований состояла в определении степени очистки сточных вод химико-фармацевтических производств на городских очистных сооружениях, возможного влияния данных сточных вод на работу городских очистных сооружений и необходимой степени разбавления сточных вод предприятия городскими водами с учетом концентрации и характера загрязнений сточных вод. Эти исследования предшествовали принятию окончательного решения об очистке сточных вод предприятия на городских очистных сооружениях.

На первом этапе исследований для определения возможности биоокисления в аэробных условиях усредненных, нейтрализованных и предварительно отстоянных вод использовался аппарат Варбурга. Было найдено, что минимальным для сточных вод химико-фармацевтических производств, состав которых приведен на с. 131, является 10-кратное разбавление, при котором нейтрализуется токсичность стока по отношению к биоценозу очистных сооружений.

Полученные результаты позволили перейти ко второму этапу исследований — к опытам на моделях аэротенков, при проведении которых были последовательно изучены режимы работы при различных разведениях сточных вод и времени аэрации. Результаты работы моделей для некоторых условий приведены в табл. 5.6.

Влияние степени разбавления на эффективность очистки иллюстрируется графиком на рис. 5.6, из которого видно, что достаточным можно считать 9–11-кратное разбавление производственных стоков. Качество очищенной воды, как следует из рис. 5.7, также есть функция разбавления.

Наблюдения в процессе исследований показали, что при очистке стоков основное значение имеют два фактора: исходная концентрация стоков и степень их разбавления. Влияние первого фактора может быть частично исключено путем изменения длительности обработки стока и нагрузок на ил. Однако нельзя добиться одинакового эффекта очистки даже при равных нагрузках, если кратность разбавления разная и меньше 10, что видно из рис. 5.8.

Поскольку данное предприятие не имеет в своем составе сооружений по уничтожению токсичных сточных вод, вследствие чего эти сточные воды сбрасывают в канализационные сети, разбавление сточных вод является определяющим фактором эффективности их аэробной очистки. При этом можно сделать общий вывод, что выделить в стоке столь сложного состава влияние одного или нескольких веществ на процесс аэробной очистки — зада-

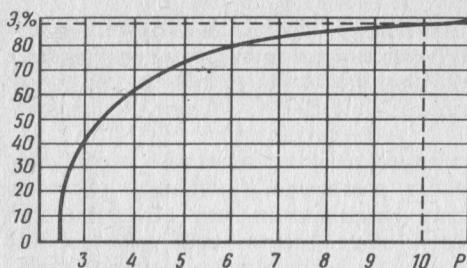


Рис. 5.6. Зависимость эффективности очистки сточных вод от степени разбавления P

Таблица 5.6

Показатели	Неразбавлен- ный производ- ственный сток	Результаты при степени разведения			
		1:6		1:10	
		время обработки стоков, ч			
		24	12	24	12
БПК ₅ воды, мг/л: поступающей	1 050	540	551	347	322
выходящей	—	91	81	47	24
БПК ₁₀ воды, мг/л: поступающей	1 270	560	587	451	396
выходящей	—	169	127	60	27
ХПК воды, мг/л: поступающей	1 740	745	745	538	526
выходящей	—	468	322	180	193
Азот аммоний- ный в воде, мг/л:					
поступающей	170	67	85	114	109
выходящей	—	67	88	105	103
Хлориды, мг/л	—	1 074	1 036	978	892
Окисляемость, мг/л, в воде:					
поступающей	251	216	227	149	172
выходящей	—	128	117	70	74
Взвешенные ве- щества, мг/л, в воде:					
поступающей	—	136	138	100	87
выходящей	—	78	73	53	97
Доза ила в аэро- тенке, г/л	—	1,2	2	1	1,68
Зольность ила, %	—	24	21	28	27
Иловый индекс, мл/г	—	230	175	153	179

ча нереальная. Кумулятивное действие веществ, присутствующих в стоке в постоянно изменяющихся концентрациях, не поддается учету. Соответственно оценка результатов работы биоокислителей возможна только на основе сопоставления характеристик общего санитарно-химического анализа с учетом технологических параметров работы систем.

Третий, заключительный этап исследований был проведен с использованием моделей аэротенков в условиях их работы, близких к натурным. Установка смонтирована непосредственно на городских очистных сооружениях, куда должны поступать сточные воды химико-фармацевтического

Рис. 5.7. Зависимость качества очистки сточных вод по БПК_{полн} от степени разбавления P

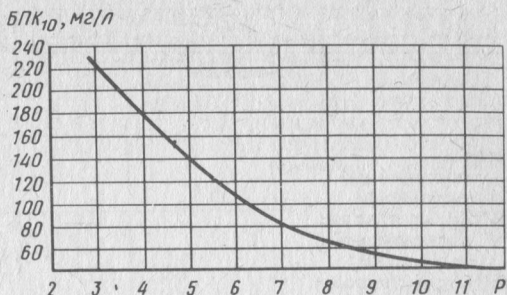
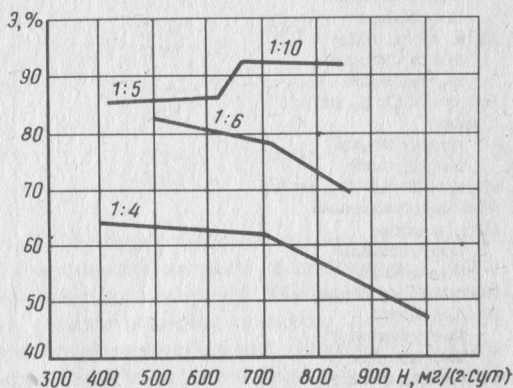


Рис. 5.8. Зависимость эффективности очистки сточных вод от нагрузки на ил H



го предприятия и в смеси с городскими сточными водами проходить полную биологическую очистку. Она состоит из двух параллельно работающих моделей аэротенков с регенераторами и вторичными отстойниками. Были приняты следующие параметры работы установки: время аэрации — 6 ч; регенерация — 50%; рециркуляция возвратного ила — 30%.

Контрольная и опытная модели работали в идентичных условиях. В контрольную модель подавали воды города, поступающие на городские очистные сооружения; в опытную модель поступала смесь, состоящая из 1 ч. общего стока предприятия, характеристики которого приведены на с. 131, и 49 ч. городских стоков. Соотношение стоков 1:50 принято исходя из реальных объемов; оно получается после того, как стоки предприятия сбрасываются в городскую канализацию.

Результаты анализов поступающей и выходящей сточной воды для аэротенка А1, предназначенного для очистки городских стоков, и аэротенка А2, предназначенного для очистки смеси сточных вод города и химико-фармацевтического предприятия, в соотношении 1:50, приведены в табл. 5.7, а параметры работы аэротенков по биохимическим показателям — в табл. 5.8 и 5.9.

Сравнение качества очищенной воды указывает на более глубокую очистку в аэротенке А1. Так, если БПК₅ очищенной воды в контрольной модели 7,8 мг/л, то в аэротенке А2 — 10,5 мг/л; БПК_{полн} составляет соответственно 13,9 и 16,9 мг/л. Эти результаты близки, однако они свидетельствуют о том, что время обработки в аэротенке А2 должно быть несколько увеличено в соответствии с концентрацией загрязнений в исходной смеси.

Доказательством тому, что разница в качестве очищенной воды есть функция только нагрузки на ил, а не характера загрязнений, являются по-

Таблица 5.7

Показатели	Аэротенк	
	A ₁	A ₂
рН воды:		
поступающей	7,6	7,6
выходящей	7,4	7,4
БПК ₅ , мг/л, воды:		
поступающей	89	108
выходящей	7,8	10,5
БПК ₁₀ , мг/л, воды:		
поступающей	123	153
выходящей	13,9	16,8
ХПК, мг/л, воды:		
поступающей	222	287
выходящей	78	134
Окисляемость, мг/л,		
в воде:		
поступающей	26	51
выходящей	13	23
Растворенный O ₂ , мг/л	7,1	6,6
Азот аммонийный,		
мг/л, в воде:		
поступающей	21,5	22
выходящей	8,4	14
Взвешенные вещества,		
мг/л, в воде:		
поступающей	91	114
выходящей	23	26
Зольность взвешен-		
ных веществ, %, в воде:		
поступающей	25	25,6
выходящей	27,7	26,9
Доза ила, г/л:		
в аэротенке	1,6	2,0
в регенераторе	4,5	4,2
Зольность ила, %		
в аэротенке	30,9	34
в регенераторе	32,3	33
Иловый индекс, мл/г:		
аэротенка	93	104
регенератора	101	121

Таблица 5.8

Показатели	Аэротенк	
	A ₁	A ₂
Нагрузка на объем, г БПК _{полн} / (м ³ · сут)	492	612
Окислительная мощность, г БПК _{полн} / (м ³ · сут)	436	545
Нагрузка на ил, мг БПК _{полн} / (г · сут)	395	412
Скорость окисления, мг БПК _{полн} / (гбв · ч)	16,4	17,2
Эффект очистки, %:		
по БПК _{полн}	88,6	89
по ХПК	64,9	53,3
по окисляемости	50	54,9

казатели скорости окисления. В обеих моделях (контрольной и опытной) эти показатели практически одинаковы, в опытной даже несколько выше, чем в контрольной, что говорит о равной способности к окислению при

Таблица 5.9

Показатели	Сточные воды города	Сточные воды химико-фармацевтического предприятия	Смесь сточных вод города и предприятия в соотношении 50 : 1
БПК _{полн} /БПК ₅ воды:			
поступающей	1,38	1,73	1,41
выходящей	1,78	—	1,6
БПК _{полн} /ХПК воды:			
поступающей	0,56	0,23	0,53
выходящей	0,18	—	0,13
Окисляемость/ХПК воды:			
поступающей	0,12	0,11	0,18
выходящей	0,17	—	0,18
Окисляемость/БПК _{полн} воды:			
поступающей	0,21	0,49	0,34
выходящей	0,93	—	1,39

разных исходных нагрузках на ил. Обращает на себя внимание снижение качества очищенной воды по ХПК в опытной модели по сравнению с контрольной. Часть загрязнений, описываемых величиной ХПК, хотя и не токсична для ила и не препятствует окислительному процессу в аэротенках, не удаляется в них и фиксируется в очищенной воде. Возможность сброса такой очищенной воды определяется местными условиями. Интересно отметить, что увеличение ХПК опытной пробы по сравнению с контрольной в очищенной воде совпадает с увеличением ХПК в исходной смеси.

Таким образом, можно принять, что значительная часть органических веществ в стоках данного химико-фармацевтического предприятия биохимически не окисляется и вместе с тем не является токсичной для активного ила.

5.4. ПРЕДПРИЯТИЕ № 4

Предприятие специализируется в основном на выпуске малотоннажных препаратов. Производство отличается многостадийностью технологических процессов при постоянно изменяющейся мощности и номенклатуре производств, что обуславливает изменение показателей состава сточных вод по наименованиям и количеству. На предприятии функционируют следующие сети канализации:

 производственная, куда сбрасывают все загрязненные в процессе производства сточные воды, в том числе от мытья полов производственных и вспомогательных помещений, скрубберных установок и т.д.;

 бытовая, куда сбрасывают сточные воды от бытовых помещений, душевых и столовых;

 условно чистая для отвода воды от охлаждения технологического оборудования.

Производственные сточные воды предприятия характеризуются следующими усредненными показателями: рН = 6,5; ХПК = 1700 мг/л; БПК₅ = 600 мг/л; сухой остаток 2500 мг/л; прокаленный остаток 1600 мг/л. В сточных водах содержатся специфические примеси в следующих концент-

рациях, мг/л: пиридин — 1,23; СПАВ — 0,24; ароматические углеводороды — 56,8; экстрагируемые вещества — 15,2; нефтепродукты — 6,6.

Предприятие расположено в промышленной зоне в черте города. Все сточные воды города и его промышленных предприятий, в том числе производственные стоки данного химико-фармацевтического предприятия, после предварительной локальной обработки направляются на городские сооружения полной биологической очистки с последующим сбросом в водоем I категории.

Характер химико-фармацевтических производств и требования к составу производственных сточных вод, поступающих на городские очистные сооружения, предопределили схему разделения и локальной обработки производственных стоков. Так, при проектировании предприятия было намечено: сильнозагрязненные сточные воды, состоящие из маточных растворов, солевых растворов, кубовых остатков и прочих концентрированных сточных вод по отдельной системе трубопроводов направлять на узел термической обработки отходов производства;

загрязненные производственные сточные воды, не содержащие по отношению к биологическим очистным сооружениям токсичных и трудноокисляемых химических веществ, по сети производственной канализации подавать на локальные очистные сооружения, где они усредняются, известкуются, отстаиваются, после чего сбрасываются на городские очистные сооружения.

Учитывая, что на городских очистных сооружениях предусматривалась двухступенчатая биологическая очистка, необходимость в которой определялась характером стоков всех промышленных предприятий города, было принято решение в первую очередь строительства не сооружать узел термической обработки отходов производства, а сбрасывать все стоки химико-фармацевтического предприятия, в том числе маточные растворы, кубовые остатки и т.п., в единую сеть производственной канализации, обрабатывать смесь всех сточных вод на локальных сооружениях и затем передавать на городские очистные сооружения. Впоследствии, в зависимости от показателей работы городских очистных сооружений, предполагалось решить вопрос о целесообразности строительства узла термической обработки отходов производства с раздельной обработкой производственных сточных вод. Данное решение вызвано высокой энергоемкостью систем термического уничтожения отходов.

Схема сооружений локальной очистки производственных сточных вод химико-фармацевтического предприятия показана на рис. 5.9. Сточные воды самотеком поступают в приемный резервуар 1, из которого насосами, установленными на насосной станции 2, перекачиваются в приемную камеру 3, затем в песколовки 4 для отделения крупных фракций минеральных взвесей, проходят расходомерные лотки 5 и равномерно поступают в два усреднителя 6 емкостью по 90 м³ каждый, где усредняются при постоянном перемешивании воздухом, подаваемым через систему дырчатых полиэтиленовых воздухораспределительных труб.

Усредненные стоки по лоткам проходят в ершовые смесители 7, куда подается известковое молоко, приготовляемое в здании станции нейтрализации 8. Смесь производственных сточных вод и известкового молока поступает в камеру реакции 9, где происходят нейтрализация сточных вод и хлопьеобразование. В лоток, расположенный после камеры реакции, поступает раствор полиакриламида. Далее сточные воды проходят в два горизонтальных двухсекционных отстойника 10, где нейтрализованные стоки освет-

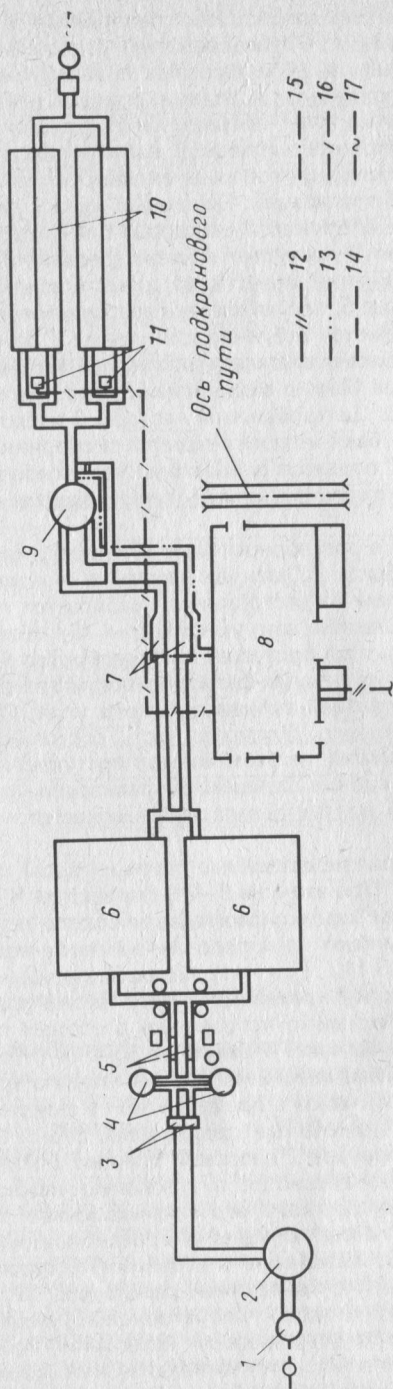


Рис. 5.9. Схема локальных очистных сооружений
 1-11 — см. в тексте; 12 — ввод суспензии активированного угля; 13 — полиакриламид, поступающий в лоток после камеры реакции;
 14 — производственные стоки на очистку; 15 — известковое молоко, поступающее в ершовый смеситель; 16 — трубопровод удаления
 шлама из отстойника, 17 — предварительно обработанные производственные стоки на биологическую очистку

ляются, после чего в смеси с бытовыми стоками предприятия сбрасываются на городские очистные сооружения. Образовавшийся в отстойниках шлам выдавливается в шламовые камеры 11 и насосами подается на установку обезвоживания шлама, расположенную в здании станции нейтрализации.

Общая компоновка и основные узлы оборудования станции нейтрализации показаны на рис. 5.10. Поставка негашеной извести предусмотрена в самопрокидывающихся контейнерах, которые складываются на контейнерной площадке у станции нейтрализации. Башенный кран 1 подает и разгружает контейнер в приемный бункер 2 емкостью 6 м³, откуда известь с помощью лоткового питателя 3 поступает в известегасилку 4. Инертные примеси, отделившиеся при гашении извести из известегасилки, вываливаются на ленточный транспортер 5, по которому перегружаются на другой ленточный транспортер 6, и подаются в бункер для шлама 7, откуда периодически вывозятся автотранспортом в шламонакопитель. Из известегасилки тесто поступает в растворные баки с мешалками 8, где приготавливается 10%-ное известковое молоко. Центробежным насосом 9 известковое молоко забирается из растворного бака и перекачивается в сборник 10 емкостью 20 м³, откуда насосами 11 подается в дозаторы известкового молока 12, из которых в зависимости от показаний рН-метра подается в ершовые смесители.

Полиакриламид растворяется в растворном баке 12 и доводится до рабочей концентрации в расходных баках 13, откуда насосами 14 подается в лоток после камеры реакции. Шлам из отстойников забирается песковыми насосами 15 и подается на барабанные вакуум-фильтры 16; обезвоженный до 75–80% шлам из вакуум-фильтров поступает на транспортер 6, а затем в бункер для шлама 7. Фильтрат из вакуум-фильтров поступает в бак-сборник 17, где обрабатывается суспензией активированного угля. Отстоенный фильтрат сбрасывается в канализацию. Шламовая часть, состоящая из активированного угля в смеси со шламом, из отстойников поступает на вакуум-фильтры для обезвоживания. В здании станции нейтрализации установлены газодувки 18, подающие сжатый воздух для перемешивания сточных вод в усреднителях.

На локальных сооружениях производственные сточные воды усредняются по составу и нейтрализуются. При этом на 5–7% снижаются ХПК и БПК сточных вод. Далее сточные воды химико-фармацевтического предприятия по отдельному коллектору поступают на городские очистные сооружения, схема которых приведена на рис. 5.11.

Прошедшие локальную обработку производственные стоки предприятия предварительно поступают в специально устроенную в составе городских очистных сооружений аварийную емкость 1 объемом 6000 м³. При необходимости путем использования объема аварийной емкости подача производственных стоков химико-фармацевтического предприятия на очистные сооружения может быть временно ограничена или прекращена. Стоки из аварийной емкости или приемного резервуара 2 насосами станции химико-фармацевтического предприятия 3 перекачиваются в приемную камеру 4, где смешиваются со сточными водами города и его промышленных предприятий. Сточные воды проходят механическую решетку 5, песколовки 6, отстойники 7, аэротенки 1-й ступени 8, вторичные отстойники 9, аэротенки 2-й ступени 10, третичные отстойники 11, контактные резервуары 12, где сточные воды обезвреживаются хлором из здания хлораторной 13, и сбрасываются через отводной коллектор в водоем первой категории. Избыточный активный ил и осадок собираются в илоуплотнителях 14 и обезвоживаются на вакуум-фильтрах в цехе обезвоживания осадков, совмещенном с возду-

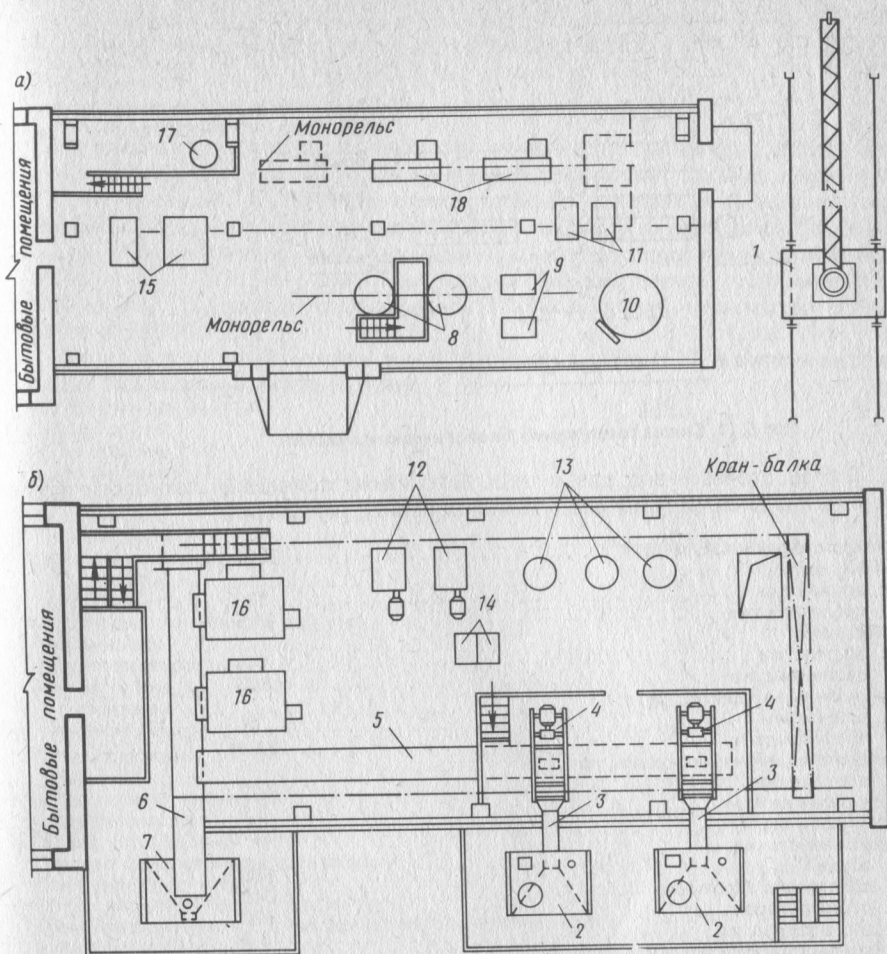


Рис.5.10. Станция нейтрализации
а — план на отметке 0,0; б — план на отметке 7,2

ходувной станцией 15. Предусмотрены аварийные иловые площадки 16.

В качестве 1-й и 2-й ступеней приняты трехкоридорные аэротенки-смесители, имеющие соответственно секции из трех и пяти аэротенков. Вторичные отстойники — радиальные, $d = 24$ м (2 отстойника); третичные отстойники — радиальные, $d = 18$ м.

Здание воздухоудвжной станции, совмещенной с цехом обезвоживания осадка, выполнено по индивидуальному проекту.

После того как очистные сооружения были построены в объеме одной секции 1-й ступени биологической очистки, на них были направлены только производственные стоки химико-фармацевтического предприятия в объеме $3000 \text{ м}^3/\text{сут}$. Данное решение было принято с целью выявления возможности и степени очистки сточных вод химико-фармацевтических производств без их разбавления на сооружениях биологической очистки в производственном масштабе, что до этого не имело аналогов в отечественной практике.

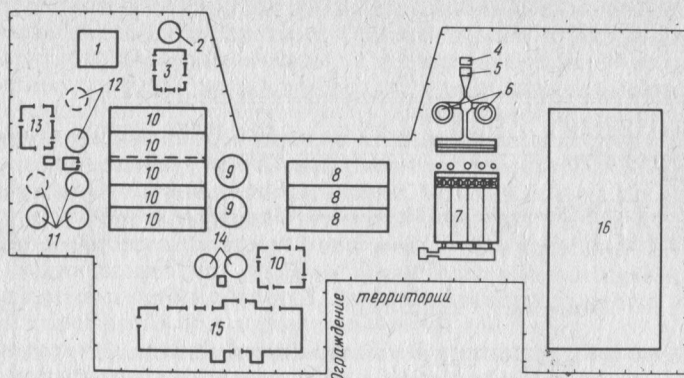


Рис.5.11. Схема сооружений биологической очистки

Состав сточных вод дан в табл. 5.10. Ниже приведены технологические параметры эксплуатации сооружений за период испытаний:

Расход сточных вод, м ³ /сут	3000
БПК ₅ , мг/л:	
до очистки	330
после очистки	21,5
ХПК, мг/л:	
до очистки	1 144
после очистки	603
Взвешенные вещества, мг/л:	
до очистки	95
после очистки	31,4
Концентрация активного ила, г/л:	
в аэротенке	2,22
в регенераторе	3,5
Зольность ила, %	27
Объем аэротенка, м ³ :	
общий	7 560
собственно аэротенка	5 040
регенератора	2 520
Расход воздуха, тыс. м ³ /ч	18,0
Средняя продолжительность аэрации, ч	60,5
Доля циркулирующего ила	1,73
Объем циркулирующего ила, м ³ /ч	216
Время пребывания иловой смеси в собственно аэротенке, ч	14,8
Время регенерации, ч	11,7
Время окисления, ч	26,5
Нагрузка по БПК ₅ на объем, г/(м ³ · сут)	131
Средняя доза ила в системе, г/л	2,63
Нагрузка по БПК ₅ на ил по беззольному веществу, мг/(гбв · сут)	68,6
Эффект очистки, %:	
по БПК ₅	93,4
по ХПК	47,3
Окислительная мощность системы, мг БПК ₅ /(гбв · сут)	59,8
Удельная скорость окисления, мг БПК ₅ /(гбв · ч)	2,5
Расход воздуха:	
на 1 м ³ стоков, м ³ /м ³	144
на 1 кг БПК ₅ , м ³ /кг	466
Интенсивность аэрации, м ³ /(м ² · ч)	11,9
Использование кислорода, %	0,8
Иловый индекс, мл/г:	
в аэротенке	76

в регенераторе	80
Растворенный кислород, мг/л:	
в регенераторе	5,07
в аэротенке	7,04
во вторичном отстойнике	6,5

Из этих данных видно, что несмотря на избыток кислорода, достаточные концентрации ила и очень большое время обработки, эффект очистки по ХПК не превысил 47,3%. Возможно, этот эффект может быть увеличен при снижении концентрации трудноокисляемых веществ за счет их разбавления. Данное предположение было проверено в последующий период, в течение которого на эти же очистные сооружения направили дополнительно 6000 м³/сут городских сточных вод. Таким образом, количество стоков составило 9000 м³/сут.

Состав поступающих сточных вод приведен в табл. 5.11, а данные эксплуатации за это время указаны ниже:

Расход сточных вод, м ³ /сут	9 000
БПК ₅ , мг/л:	
до очистки	415
после очистки	44
ХПК, мг/л:	
до очистки	1 195
после очистки	423
Взвешенные вещества, мг/л:	
до очистки	198
после очистки	38
Концентрация активного ила, г/л:	
в аэротенке	2,8
в регенераторе	5,4
Зольность ила, %:	
в аэротенке	22
в регенераторе	26
Объем аэротенка, м ³ :	
общий	7 560
собственно аэротенка	5 040
регенератора	2 520
Расход воздуха, тыс. · м ³ /ч	18
Средняя продолжительность аэрации, ч	20,16
Доля циркулирующего ила	1,07
Объем циркулирующего ила, м ³ /ч	400
Время пребывания иловой смеси в собственно аэротенке, ч	6,5
Время регенерации, ч	6,3
Время окисления, ч	12,8
Нагрузка по БПК ₅ на объем, г/ (м ³ · сут)	778
Средняя доза ила в системе, г/л	3,66
Нагрузка по БПК ₅ на ил по беззольному веществу, мг/ (гбв · сут)	2,78
Эффект очистки, %:	
по БПК ₅	89
по ХПК	64
Окислительная мощность системы, мг БПК ₅ / (гбв · сут)	247
Удельная скорость окисления, мг БПК ₅ / (гбв · ч)	10,3
Расход воздуха:	
на 1 м ³ стоков, м ³ /м ³	48
на 1 кг БПК ₅ , м ³ /кг	129
Интенсивность аэрации, м ³ / (м ² · ч)	18,75
Использование кислорода, %	3
Иловый индекс, мл/г:	
в аэротенке	94
в регенераторе	108
Растворенный кислород, мг/л:	
в регенераторе	1,25
в аэротенке	2,6

Таблица 5.10

Показатели, мг/л	Значения показателей	
	до очистки	после очистки
ХПК	902—1 358	455—772
БПК ₅	174—540	11,7—69,1
БПК _{полн} (30 сут)	277—610	26,6—71
Сухой остаток	1 464—3 704	1 600—3 613
Прокаленный остаток:	1 090—2 680	1 050—2 770
NH ₄ ⁺	64,5—128,4	84—130
NO ₃ ⁻	0,077—0,29	0,107—0,3
NO ₂ ⁻	3,0—5,0	2,35—5,24
Взвешенные вещества:	65—180	17,3—55,2
Cl ⁻	700—1 170	693—1 110
SO ₄ ²⁻	521—906	530—880
P ₂ O ₅	—	3,07—4,26

Таблица 5.11

Показатели	Значения показателей	
	до очистки	после очистки
Температура, °С	—	17,2
Окраска	Желтая	Желтоватая
Запах	Специфический	Специфический
pH	8,2	7,7
Взвешенные вещества, мг/л	198	38
Азот, мг/л:		
общий	58,2	62,7
нитратный	1,52	0,28
нитритный	4,4	4,1
ХПК, мг/л	1 195	423
БПК ₅ , мг/л	415	44
БПК _{полн} , мг/л	555	76
Фосфаты, мг/л	2,43	2,72
Сульфаты, мг/л	320	308

Полученные результаты указывают на несколько большую эффективность аэрационной системы. Эффект очистки по ХПК повысился с 47,8 до 64%. Однако в связи с увеличением количества сточных вод абсолютное количество неокислившихся химических веществ, описываемых значением ХПК, возросло. Одновременно снизилась эффективность очистки по БПК₅ с 93,4 до 89%. Последнее можно объяснить тем, что в направляемых на очистку сточных водах большой удельный вес составляют стоки промышленных предприятий, содержащие различные трудноокисляемые вещества. Это подтверждается соотношением БПК₅ и ХПК в сточных водах до и после очистки. Так, при работе аэрационной системы в первый период данное соотношение составило соответственно 0,288 и 0,036, а во второй период — 0,347 и 0,10.

После окончания строительства II ступени биологической очистки объем поступающих на очистку сточных вод возрос до 17 тыс.м³/сут, в том числе стоков химико-фармацевтического предприятия — до 5 тыс.м³/сут. Несколько изменился состав сточных вод. За длительный период работы сооружений были получены следующие усредненные показатели состава сточных вод, мг/л: БПК₅ = 365—460; БПК_{полн} = 450—622; ХПК = 1300—1500; взвешенные вещества — 117; сульфаты 350—410; хлориды 410—513; азот — 113; фосфор на выходе после биологической очистки — 1,5.

Технологические параметры эксплуатации аэротенков 1-й и 2-й ступеней за это время даны в табл. 5.12. Из полученных данных следует, что для сточных вод приведенного состава двухступенчатая биологическая очистка дает относительно небольшие преимущества перед одноступенчатой. При суммарном времени пребывания сточных вод в аэротенках 1-й и 2-й ступеней $(31,7 + 53) = 84,7$ ч общий эффект очистки по БПК составляет 94%, по ХПК — 74,4%. Соотношение БПК₅ и ХПК в очищенных стоках равно 0,067, что свидетельствует о содержании в сточных водах трудноокисляемых веществ, не окисляющихся даже при скорости окисления на 2-й ступени аэротенков, равной 1,2 мг БПК/(гбв · ч).

Таблица 5.12

Показатели	Исходные данные сточных вод	Показатели работы аэротенков для ступени очистки	
		1-й	2-й
Расход сточных вод, м ³ /сут	17 000	17 000	17 000
БПК ₅ , мг/л	415	162	24,2
ХПК, мг/л	1 400	632	358
Взвешенные вещества, мг/л	117	55	34
Доза ила, г/л:			
в аэротенке	—	4,1	2,5
регенераторе	—	7,6	4,8
Зольность ила, %	—	32	34
Объем аэротенков общий, м ³	—	22 500	37 500
Объем регенераторов, м ³	—	7 500	12 500
Расход воздуха, тыс.м ³ /ч	—	28	22
Расчетная продолжительность пребывания, ч	—	31,7	53
Доля циркулирующего ила	—	1,17	1,09
Объем циркулирующего ила, м ³ /ч	—	828	772
Продолжительность аэрации, ч	—	9,8	16,9
Продолжительность окисления, ч	—	18,9	33,1
Нагрузка по БПК ₅ на объем, г БПК ₅ /(м ³ · сут)	—	314,2	73,1
Средняя доза ила в системе, г/л	—	5,26	3,28
Нагрузка на ил, мг БПК ₅ /(гбв · сут)	—	87,3	34
Эффект очистки по БПК ₅ , %	—	61	85
Окислительная мощность, мг БПК ₅ /(гбв · сут)	—	53,2	28,9
Скорость окисления, мг БПК ₅ /(гбв · ч)	—	2,22	1,2
Иловый индекс, мл/г	—	100	92
Растворенный кислород, мг/л	—	1,2	5
Общий эффект очистки, %:			
по БПК ₅	—	—	94,2
по ХПК	—	—	74,4
Отношение БПК ₅ /ХПК	0,296	0,256	0,067

На основании полученных результатов можно сделать вывод о необходимости выделения сточных вод химико-фармацевтических производств, которые содержат трудноокисляемые вещества, из общего потока и локальной обработки таких стоков. Увеличение времени окисления сточных вод и снижение нагрузки на ил не приводят к повышению эффекта очистки.

Эффективность биохимического окисления сточных вод химико-фармацевтического предприятия зависит также от их температуры. Полученные в лабораторных условиях результаты очистки сточных вод такого предприя-

тия в смеси с городскими стоками при различных температурных режимах с периодом аэрации 6 ч показали, что при температуре сточных вод 21°C эффект очистки составляет, %: по БПК₅ — 94,8, по БПК_{полн} — 91, по ХПК — 73,8. При температуре 15°C этот эффект равен, %: по БПК₅ — 95,5, по БПК_{полн} — 93,5, по ХПК — 75,1, а при температуре 12,8°C он составляет, %: по БПК₅ — 82, по БПК_{полн} — 76, по ХПК — 62,9.

Рассмотренные примеры очистки сточных вод химико-фармацевтических предприятий производства препаратов разных видов и назначения позволяют сделать общий вывод о необходимости локальной обработки стоков и возможности их биологической очистки до требуемых нормативов при условии выделения из сточных вод химических веществ, не способных окисляться в аэробных окислителях.

Список литературы

1. Майофис Л.С. Химия и технология химико-фармацевтических препаратов. — Л.: Медицина, 1964.
2. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. и др. Технологические параметры расчета очистных сооружений для сточных вод химико-фармацевтических предприятий. — В сб.: Исследования по очистке сточных вод. Сборник трудов Московского инженерно-строительного института им. В.В.Куйбышева, № 87. — М.: 1971, с. 22—30.

6. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ВИТАМИНОВ

В данной главе рассмотрены типичные для отрасли предприятия, на которых в различном сочетании размещены производства следующих синтетических витаминов: ретинола (А), тиамина (В₁), рибофлавина (В₂), фолиевой кислоты (В_с), аскорбиновой кислоты (С), токоферола (Е). Технология производства этих витаминов достаточно подробно описана в литературе [1].

В процессе производства образуются загрязненные сточные воды и не утилизируемые отходы, обработка которых (очистка или уничтожение) проводится на специальных сооружениях, имеющихся на каждом действующем предприятии. Состав сооружений зависит от условий, аналогичных перечисленным в гл. 5.

6.1. ПРЕДПРИЯТИЕ № 1

Предприятие производит одновременно следующие синтетические витамины: В_с (фолиевая кислота) и С (аскорбиновая кислота). Кроме того, предприятие выпускает готовые формы (таблетки, драже и т.д.).

Наиболее крупнотоннажным, водо- и отходоёмким является производство аскорбиновой кислоты. В настоящее время процесс ее получения состоит из следующих стадий: исходное сырье d-глюкозу переводят в L-сорбозу, затем в диацетон- L-сорбозу и гидрат диацетон-2-кето- L-гулоновой кислоты (ДАКГК), из которого получают техническую аскорбиновую кислоту, далее подвергают ее очистке активированным углем и перекристаллизации для получения аскорбиновой кислоты медицинского назначения. В процессе производства аскорбиновой кислоты вода используется для приготовления растворов, промывки полупродуктов, активированного угля и катализато-

ра, для приготовления рабочих культур и питательных сред, мытья посуды и т.п. Наибольшее по объему количество загрязненных сточных вод образуется на стадиях получения диацетон- L -сорбозы ($22 \text{ м}^3/\text{т}$ медицинской аскорбиновой кислоты) и гидрата ДАКГК ($26 \text{ м}^3/\text{т}$ медицинской аскорбиновой кислоты). Показатели сточных вод, образующихся на 1 т медицинской аскорбиновой кислоты (МАК), приведены в табл. 6.1.

В соответствии с принятой системой на предприятии действуют следующие сети канализации: концентрированных стоков, производственных сточных вод и бытовая.

В сеть концентрированных стоков поступают наиболее токсичные сточные воды, маточные растворы и кубовые остатки. В связи с высокой токсичностью они не могут быть приняты в сеть производственной канализации, и поэтому по напорному трубопроводу подаются на установку термической обработки.

Все прочие сточные воды, образованные в процессе производства от промывки аппаратов, мытья полов и т.п., поступают в сеть производственной канализации, по которой самотеком направляются на локальные очистные сооружения предприятия, где проходят усреднение, известкование, отстаивание, смешиваются с бытовыми стоками и далее направляются на районные сооружения полной биологической очистки, куда поступают все сточные воды данного жилого района и находящихся на его территории промышленных предприятий. Схема локальных очистных сооружений предприятия представлена на рис. 6.1.

По схеме производственные сточные воды самотеком поступают в приемный резервуар 1, откуда насосами, установленными в отдельно стоящем здании насосной станции 2, перекачиваются в усреднители 3. Затем сточные воды самотеком поступают в приемную камеру усредненных стоков 4 и насосами, установленными в здании станции нейтрализации 5, подаются в смесители, где смешиваются с известковым молоком, после чего поступают в отстойники 6. Смесители и оборудование для приготовления известкового молока также размещаются в здании станции нейтрализации.

Нейтрализованные и отстойные сточные воды поступают в камеру осветленных стоков 7 и перекачиваются в городскую канализацию. Образовавшийся в отстойниках шлам периодически передавливается в шламовый резервуар 8, из которого насосами забирается в цех механического обезвоживания осадка 9, где обезвоживается на барабанных вакуум-фильтрах и вывозится в отвал. Здание установки термического уничтожения отходов 10 размещается на одной площадке с локальными очистными сооружениями.

Объем усреднителей рассчитан на суточное пребывание в них сточных вод. Усреднение осуществляется за счет перемешивания сжатым воздухом от турбовоздуходувки, установленных в здании станции нейтрализации, из расчета 10 м^3 воздуха на 1 м^3 сточных вод. Мощность станции нейтрализации по товарной извести — до 5 т/сут. Доза активной извести принята равной $0,7 \text{ кг/м}^3$ сточных вод. Сточные воды в отстойниках находятся около 2 ч. Объем образующегося шлама 92%-ной влажности составляет около 8% объема сточных вод. На вакуум-фильтрах шлам обезвоживается до 70%.

В процессе локальной обработки загрязненность сточных вод по среднему годовому данным снижалась следующим образом: по ХПК — с 1854 до 1368 мг/л, т.е. на 26%; по БПК₅ — с 836 до 684 мг/л, т.е. на 18%. Перед обработкой стоки имели $\text{pH} = 3-4$, после нейтрализации получили значение $\text{pH} = 6-8$.

Известковое хозяйство на данных сооружениях показано на рис. 6.2. Из-

Таблица 6.1

148

Стадия производства	Образующиеся сточные воды	Количество сточных вод на 1 т МАК, м ³	Окраска	Запах	pH	Взвешенные вещества		Плотный остаток, мг/л		ХПК, мг/л	БПК _{полн} , мг/л	Эфирорастворимые, мг/л
						сухой остаток	прокаленный остаток	сухой	прокаленный			
1. Получение α-сорбита	1. Концентрированный раствор алюмината натрия	21,3	Фиолетовая	Нет	13	5 000	3 250	152 000	112 500	—	—	—
	2. Слабый раствор алюмината натрия	0,42	То же	"	13	860	820	45 480	35 470	134	21	—
	3. Промывные воды от свежего катализатора	0,7	"	"	12,8	760	640	66 360	53 200	—	—	51
	4. Промывные воды от регенерированного катализатора	0,3	Бесцветная	"	11	565	470	205	81	—	—	—
2. Получение L-сорбозы	1. III маточный раствор сорбозы	0,25	Темно-коричневая	Жженого сахара	6	Нет	Нет	625 000	240 000	690 000	373 000	1 700
3. Получение диацетон- L-сорбозы	2. Конденсат после стерилизации	11,4	Бесцветная	Нет	7,1	"	"	Нет	Нет	—	—	—
	1. Раствор сернокислого натрия после выделения сиропа	0,78	Коричневая	Специфический	11	—	—	187 000	11 400	—	—	1 900
	2. Раствор сернокислого натрия после отгонки ацетона	1,0	То же	То же	13,4	Нет	Нет	414 000	299 000	94 200	23 200	304
	3. Щелочной маточный раствор	0,9	"	Нет	13,7	"	"	337 500	321 500	—	—	590
	4. Конденсат после вакуум-выпарки сиропа монодиацетонсорбозы	5,88	Слабо-желтая	"	6,7	"	"	Нет	Нет	—	—	54
	5. Конденсат после вакуум-выпарки кубового остатка из колонн	3,68	"	"	7,8	"	"	"	"	—	—	—
4. Получение гидрата	Маточный раствор и промывные воды пос-	26,0	"	"	1,6	"	"	169 400	154 000	—	—	260

Продолжение табл. 6.1

Стадия производства	Образующиеся сточные воды	Количество сточных вод на 1 т МАК, м ³	Окраска	Запах	pH	Взвешенные вещества		Плотный остаток, мг/л		ХПК, мг/л	БПК _{полн} , мг/л	Эфирорастворимые, мг/л
						сухой остаток	прокаленный остаток	сухой	прокаленный			
ДАКГК 5. Получение технической аскорбиновой кислоты	ле выделения гидрата	2,2	Желтоватая	Органических растворителей	7,7	—	—	—	—	—	—	—
	1. Дихлорэтановая вода после отмывки и регенерации дихлорэтана	2,7	Темно-коричневая	Специфический	4,0	1 825	500	120 700	57 760	—	—	1 260
6. Получение медицинской аскорбиновой кислоты	2. Кубовый остаток после отгонки дихлорэтана	0,05	То же	Нет	—	Нет	Нет	800 000	50 000	50 000	—	5 360
	1. IV маточный раствор аскорбиновой кислоты	2,82	Бесцветная	"	8,5	—	—	12 200	300	—	—	—
	2. Промывные воды после регенерации активированного угля											

149

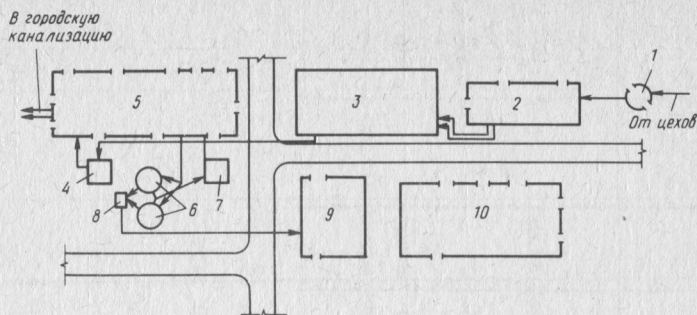


Рис.6.1. Схема расположения локальных очистных сооружений

весть товарная доставляется на автомашинах и выгружается в хранилище 1, рассчитанное на хранение двухнедельного запаса комовой извести. Из хранилища известь забирается грейфером 2, подвешенным на электрическом кране 3. Грейфер ссыпает известь в металлический бункер 4, оборудованный вибратором 5. Далее комовая известь поступает в известегасилку 6, из которой известковое тесто направляется в емкости концентрированного известкового молока 7, где перемешивается с водой с помощью известкового молока 8. Эти же насосы подают концентрированный раствор в баки приготовления рабочего раствора концентрацией около 10%, который затем насосами-дозаторами перекачивается в смесители, где смешивается с обрабатываемыми сточными водами.

В табл.6.2 приведены, по данным Белгородского филиала Всесоюзного научно-исследовательского витаминного института (ВНИВИ), удельные значения ХПК и БПК_{полн} ряда полупродуктов и сырья, которые могут попадать в сточные воды, образующиеся в процессе производства аскорбиновой кислоты.

Таблица 6.2

Продукт	Удельная ХПК, мг/мг	Удельная БПК _{полн} , мг/мг	БПК/ХПК, %
L-сорбоза	1,104	0,988	88,5
Моноацетонсорбоза	1,08	0,28	25,9
Диацетонсорбоза	1,53	0,407	26,6
Гидрат диацетон-2-кето- L-гулоновой кислоты	1,17	0,09	7,6
L-аскорбиновая кислота	0,941	0,936	99,2
Глюкоза	0,92	0,54	58,7
Окись мезитила	2,13	0,56	26,2

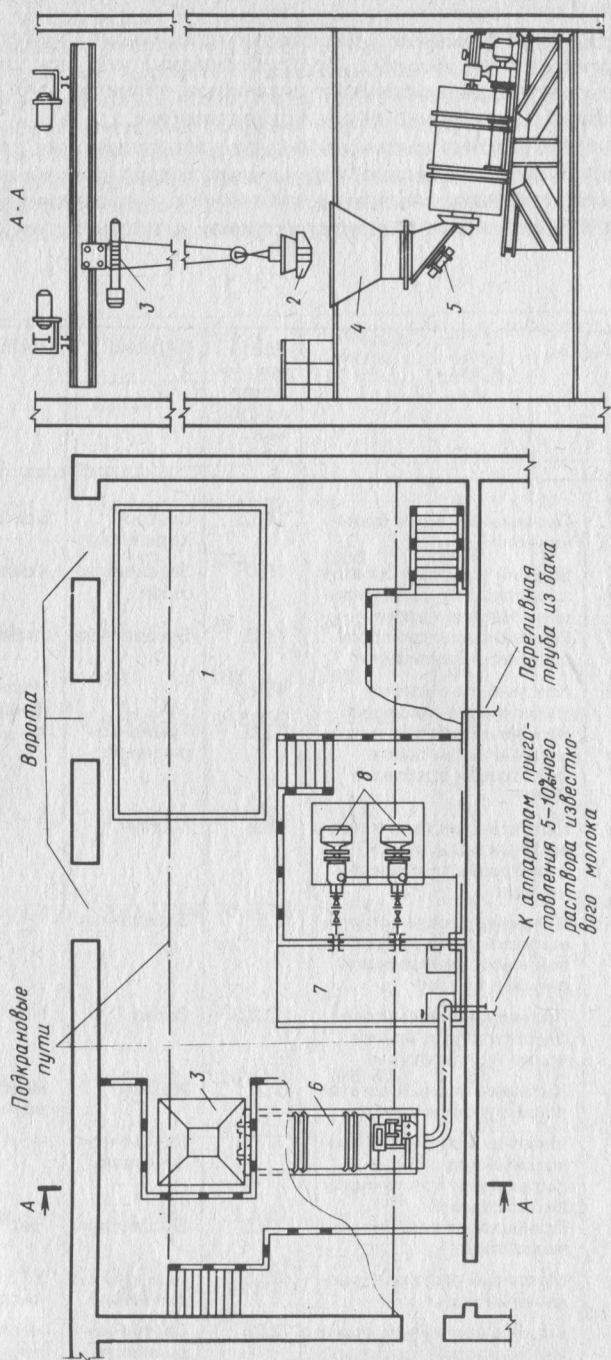


Рис. 6.2. Цех приготовления известкового молока

6.2. ПРЕДПРИЯТИЕ № 2

Данное предприятие одновременно производит следующие синтетические витамины: А (ретинол), В₁ (тиамин), В₂ (рибофлавин) и С (аскорбиновую кислоту). Производство перечисленных витаминов является многостадийным, многостадийным и достаточно водо- и отходоёмким.

Например, схема производства витамина А включает следующие стадии: получение ацетиленового карбида кальция; получение третицевого ацетиленового карбинола; получение первичного ацетиленового карбинола; получение этилового эфира монохлоруксусной кислоты путем этери-

Стадия	Стоки	Удельное количество стоков, м ³ /т	Окраска	Запах
1. Получение 4-бром-оксипола	Промывные воды бром-кислота	140,5	Светло-коричневая	Брома
2. Получение 3,4-ксилидина	Водный кубовый остаток после отгонки 3,4-ксилидина острым паром Водный фильтрат после отделения ксиллина	10,0 11,3	Зеленоватосерая	Ксиллина
3. Получение арабоната калия	Конденсат от упарки окисленного раствора Маточный раствор и промывные воды после фильтрации арабоната калия	450,0 13,0	" Темно-коричневая	Неопределенный То же
4. Получение арабоната кальция	Маточный раствор и промывные воды после фильтрации арабоната кальция	18,5	Желтая	"
5. Получение D-рибонот-лактона	Конденсат после вакуум-выпарки раствора рибонот-кислоты и замыкания ее в лактон	3,5	Бесцветная	"
6. Получение D-рибозы	Промывные воды после очистки ртути, мойки полов и аппаратуры	113,3	Серая	Нет
7. Получение рибозида	Кубовый водный остаток после отгонки спирта	1,2	Желтая	Неопределенный
8. Получение рибитиламина	Маточный раствор и промывные воды после фильтрации остаточного рибитиламина Промывные воды от катализатора	3,75 22,5	Светло-коричневая Бесцветная	— Нет
9. Получение азорибитиламина	Маточный раствор и промывные воды	32,5	Темно-коричневая	Уксусной кислоты
10. Получение барбитуровой кислоты	Водные промывки после барбитуровой кислоты	2,25	Светло-коричневая	Неопределенный

фикации; получение β -альдегида из этилового эфира монохлоруксусной кислоты и β -иона; получение дезактивированного палладированного углекислого кальция; получение диолина C_{20} , а затем диола C_{20} ; получение бромистоводородной кислоты; ацелирование диола C_{20} уксусным ангидридом; получение витамина А-ацетата; конечная стадия — получение витамина А-пальмитата, который получают Perezтерификацией витамина А-ацетата метиловым эфиром пальмитиновой кислоты в присутствии катализатора — этилата натрия. В процессе производства витамина А вода используется для приготовления растворов, получения ацетилена, промывки полупродуктов и катализатора и т.д. Аналогично производству витамина А осуществляются водо-

Таблица 6.3

рН	Плотный остаток, мг/л		БПК _{полн} , мг/л	Эфирорастворимые, мг/л	Cl ⁻ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л
	сухой	прокаленный					
0,55	0—4400	0—1340	0	24	0	0	0
4,5	69 900	1300	1500	174	0	0	1450—6 980
11—13	180	28	2470	355	0	0	4 800—14 700
8,1	528	252	240	64	1 000	114	6,4
—	512 000	342 000	233 000	110	6 550	0	0
7,5—8,3	200 000	150 000	6 000	78	7 150	—	0
1,4—2,4	230—3060	75—520	3 400	140—1 600	1 100—5 050	0	0
6,1	—	—	0	0	89	384	0
4,3	397 000	25 500	340 000	788	103	16 200	0
9,5	52 300	7 150	246 600	1 420	3 260	1 200	0,9
6,7	25 700	25 150	—	16	382	2 500	0
3,8	17 500—22 600	15 700—19 700	—	—	—	—	—
2,5	5 260	620	—	—	3 700	0	0

Стадия	Стоки	Удельное количество стоков, м ³ /т	Окраска	Запах
11. Получение рибофлавина	Водные промывки после технического рибофлавина	10,0	Темно-коричневая	—
	Маточный раствор и маточно-спиртово-хлороформенные промывки рибофлавина	56,0	Темно-желтая	Неопределенный
	Кубовый остаток после объединенной отгонки спиртовых маточных растворов азорибитиламина, барбитуровой кислоты и технического рибофлавина	5,5	Темно-коричневая	То же
12. Регенерация и ректификация спирта из растворов	Кубовый остаток после ректификации спирта	9,5	„	„

потребление и водоотведение на каждой стадии производства витаминов В₁ и В₂. Количество сточных вод и содержащихся в них химических веществ также изменяются в широких пределах. Так, при производстве витамина В₂ в сточные воды среди других загрязнений могут поступать бромистые соединения; при производстве витамина В₁ — хлороформ и уксусный ангидрид; при производстве витамина С — ацетон, этиловый спирт, хлороформ; при производстве витамина А — метиловый эфир, уксусный ангидрид и др.

Перечень и удельное количество стоков по стадиям производства витамина В₂, а также состав сточных вод данного производства по некоторым химическим показателям даны в табл.6.3.

Общий сток всего предприятия формируется из сточных вод всех производств и стоков вспомогательных и энергетических объектов (складов, котельной, холодильной станции, компрессорного цеха и т.д.). Он представляет собой жидкость желтого или светло-коричневого цвета, иногда с красноватым оттенком, со специфическим запахом и изменяющейся реакцией среды от кислой до щелочной. В состав сточных вод входят хлориды (107—785 мг/л), сульфаты (32—342 мг/л), фосфор (0,1—2,4 мг/л), аммонийный азот (2,2—18 мг/л), вещества, экстрагируемые эфиром (до 236 мг/л) и различные соли (160—13000 мг/л); ХПК общего стока колеблется от 613 до 2143 мг/л, БПК₂₀ — от 426 до 1568 мг/л. В общем стоке могут содержаться следы специфических химических веществ: хлороформа, дихлорэтана, хлористого метилена и др.

На этом предприятии принята схема канализации, в соответствии с которой сточные воды всех производств проходят предварительную обработку на локальных очистных сооружениях, после чего они смешиваются с бытовыми стоками, образованными в цехах, и направляются на городские очистные сооружения, где в смеси со сточными водами города проходят полную биологическую очистку. При этом из производственных сточных вод выделены наи-

Продолжение табл. 6.3

рН	Плотный остаток, мг/л		БПК _{полн} , мг/л	Эфирорастворимые, мг/л	Cl ⁻ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л
	сухой	прокаленный					
3,6—6,3	3 900	400	26 150	364	—	1 075	—
0,5	3 100	470	4 900	164	—	—	—
3,75	50 500	8 550	310 000	1 800	—	0	138
4,45	17 900	10 150	322 500	420	4 250	200	—

более загрязненные: маточные растворы, кубовые остатки, концентрированные стоки с трудноокисляемыми, неокисляемыми и токсичными по отношению к микрофлоре городских сооружений химическими веществами. Такие стоки отводятся специально организованной сетью трубопроводов на установку термической обработки.

В этих стоках содержатся не утилизируемые водные смеси различных химических веществ, используемых в производстве ацетона, метанола, эфиров, гексана, аммиака, минеральных солей, дихлорэтана, масел, стирола, этилформиата, керосина, хлороформа, изобутанола, уксусной кислоты, продуктов гидрирования, смолистых веществ и т.д. Общее количество водных отходов составляет около 100 м³/сут.

Выписка из карты учета сточных вод отдельных производств предприятия приведена в табл.6.4, а ниже даны показатели смеси сточных вод всех производств предприятия, поступающих на локальные очистные сооружения:

Цвет	Зелено-желтый
Запах, баллы	5,0
Прозрачность, см	1,5—6,0
Взвешенные вещества, мг/л	9,0—113,0
рН	6,0—8,5
Сухой остаток, мг/л	1940—2800
Азот, мг/л:	
аммонийный	7,0—38,0
нитритов	0,02—0,04
нитратов	0,1—4,0
Фосфор, мг/л	0,25—2,4
Хлориды, мг/л	390—1000
Сульфаты, мг/л	276—1072
ХПК, мг/л	920—1380

БПК ₅ , мг/л	320—640
БПК ₂₀ , мг/л	460—1130
Бензол, мг/л	1,5—9,3
Метанол, мг/л	10,0—62,0
Пиридин, мг/л	0,25—2,6

Количество производственных сточных вод предприятия составляет около 13 тыс.м³/сут.

Локальные очистные сооружения предусматривают усреднение сточных вод, их коагуляцию и отстаивание. Образовавшийся в отстойниках шлам направляется в шламонакопители. Усреднители представляют собой прямоугольные шестисекционные резервуары размером 57х24х5,2 м, полезным объемом 7100 м³ каждый. При двух работающих резервуарах период усреднения составляет около 24 ч. Перемешивание стоков в усреднителе осуществляется сжатым воздухом (из расчета 8 м³/ч на 1 м² рабочей поверхности усреднителя) через аэраторы из перфорированных труб, уложенных по дну, и рециркуляцией стоков через систему трубопроводов пеногашения.

Стоки из усреднителя поступают в приемную камеру, откуда забираются насосами и подаются на дальнейшую обработку в здание, где размещается реагентное хозяйство. В здании расположены различные группы насосов для перекачки сточных вод, реагентное хозяйство, отделение смесителей, воздухоподушная, лаборатория, механические мастерские, бытовые и прочие вспомогательные помещения. Планировка основных помещений здания дана на рис. 6.3.

Обработка сточных вод происходит по следующей схеме: все производственные стоки по самотечным коллекторам собираются в приемный резервуар, из которого насосами 1-й группы перекачиваются в усреднители; усредненные стоки из приемного резервуара насосами 2-й группы подаются в смеситель №1, а часть стоков перекачивается обратно в усреднители на пеногашение.

В смесителе №1 сточные воды с помощью насосов 3-й группы в зависимости от значения рН перемешиваются с нейтрализующим агентом (кислотой или содой); нейтрализованные стоки поступают в смеситель №2, где насосами 4-й группы перемешиваются с коагулянтом — сернокислым алюминием (доза 0,5 кг/м³). Далее смешанные с коагулянтом стоки самотеком поступают в отстойники длительностью отстаивания около 3 ч; осветленные производственные стоки поступают в приемный резервуар, куда подаются бытовые стоки предприятия.

Смесь прошедших локальную очистку производственных и бытовых стоков из приемного резервуара забирается насосами 5-й группы и по напорному коллектору подается в приемный резервуар городских очистных сооружений.

Образующийся в отстойниках шлам — продукт коагуляции, объем которого составляет 4,2 % общего количества сточных вод, влажностью 98,5 % — забирается шламовыми насосами и по напорному трубопроводу подается в шламонакопители, рассчитанные на накопление шлама в течение 15 лет.

Производственные сточные воды, прошедшие локальную очистку, имеют следующие характеристики:

Цвет	Светло-желтый или светло-зеленый
Запах	Специфический
Прозрачность, см	4,5—9,5
Взвешенные вещества, мг/л	20—35
рН	6,6—8,3
Сухой остаток, мг/л	2000—2900

Азот, мг/л:	20—40
аммонийный	0,02—0,04
нитритов	0,5—1,0
нитратов	0,2—1,2
Фосфор, мг/л	500—900
Хлориды, мг/л	320—1000
Сульфаты, мг/л	740—880
ХПК, мг/л	300—570
БПК ₅ , мг/л	420—730
БПК ₂₀ , мг/л	4,0—7,2
Бензол, мг/л	15—24
Метанол, мг/л	0,15—1,5
Пиридин, мг/л	

Среднесуточные значения ХПК и БПК сточных вод по данным предприятия на различных стадиях локальной очистки приведены в табл.6.5 (в четырех среднесуточных пробах) .

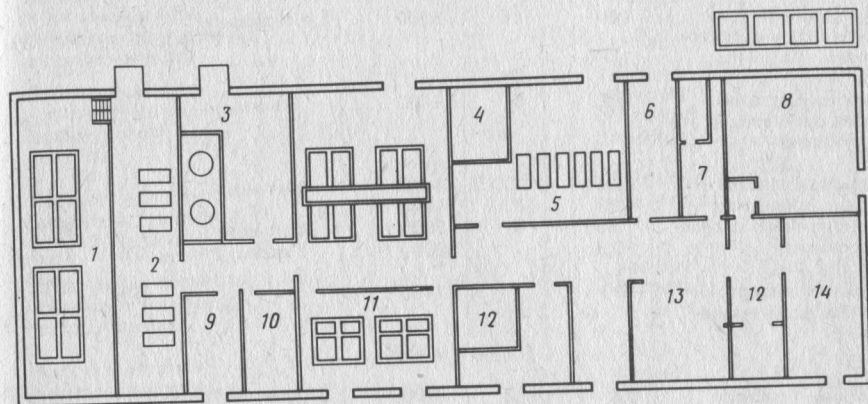


Рис. 6.3. Планирование здания реагентной станции

1 — смесители; 2 — насосы смесителей; 3 — отделение кислоты; 4 — мастерская КИП; 5 — воздухоподуная; 6 — механическая мастерская; 7 — кладовая; 8 — канализационная насосная станция; 9 — приточно-вытяжная камера; 10 — электрощитовая; 11 — склад коагулянтов; 12 — комнаты электриков; 13 — бытовые помещения; 14 — КТП и электрощитовая

Таблица 6.4

Сточные воды	Количество, м ³ /сут,	рН	ХПК, мг/л	Характеристика сточных вод	
				ингредиенты	содержание, %
				Витамин А	
Кубовый остаток после регенерации ацетона	69,4	7	2500	Ацетон Метанол Этанол	0,4 0,02 0,002
Кубовые остатки после регенерации кислых метанольных вод	6,98	1,0	18400	Эфир Метанол Этанол	0,02 0,3 0,07

Сточные воды	Количество м ³ /сут,	рН	ХПК, мг/л	Характеристика сточных вод	
				ингредиенты	содержание, %
Кубовый остаток после регенерации метанола	5,2	6,0	7360	Ацетон Метанол Этанол	0,1 0,06 0,03
Кубовый остаток после регенерации этанола	0,03	7	5000	Этанол	0,1
Кубовый остаток после регенерации эфира	43,6	7,0	4000	Эфир Ацетон	0,5 0,005
Кубовый остаток после отгонки пиридина	1,94	10	6000	Пиридин	0,5
Кубовый остаток после регенерации этилата натрия	1,26	8	4400	Бензол	0,06
Воды от технологических промывок реакционного отделения синтеза	3,36	7	4400	Метанол	0,12
	4,67	7	4200	"	0,1
	1,66	8	3000	Пиридин	0,08
	10,5	7	2000	Гексан	0,5
Стоки от водоструйных насосов-дегазаторов	200	7	2400	"	0,1
<i>Витамин С</i>					
Маточный раствор алюмината натрия	0,3	12	2000	Алюминат Щелочь	— —
Солевой раствор после отгонки ацетона	5,5	11	15000	Сульфат натрия	30
Солевой раствор экстракта моноацетонсорбозы	1,0	9	35000	То же	28
Щелочной маточный раствор от партий диацетонирования	0,8	—	25000	Щелочь	20
Маточный раствор после фуговки гидрата	13,5	3,5	400	Гулоновая кислота	0,3
<i>Витамин В₂</i>					
Отработанные воды после регенерации брома	1,8	4,5	2000	Бром Хлористый натрий	Следы 20
Маточный раствор и промывные воды арабоната кальция	3,0	9,0	35000	Арабонат калия	—
				Хлористый кальций	4
				Соли калия	11

Сточные воды	Количество, м ³ /сут	рН	ХПК, мг/л	Характеристика сточных вод	
				ингредиенты	содержание, %
Промывная вода после промывки рибитиламина	0,5	7,2	49700	Сульфат натрия Спирт	28 18
Щелочной раствор после регенерации катализатора	4,0	11	29000	Щелочь Сульфат натрия	2 —
Маточный раствор и промывная вода со стадии получения азорибитиламина	4,5	2,5	130000	Уксусная кислота Хлористый натрий	1,2 1,3
Маточный раствор и промывные воды барбитуровой кислоты	2,0	3,0	25000	Хлористый кальций Соляная кислота	1,3 2,5
Промывные воды от промывки технического витамина	4,5	3,0	3500	Бурбитуровая кислота	2,0
Промывные воды от промывки медицинского витамина	10,0	2,0	4000	Соляная кислота	3,3
Кубовой остаток после регенерации спирта	5,0	7,0	4500	Спирт Смола	5 2

Таблица 6.5

Показатели, мг/л	1			2		
	I	II	III	I	II	III
ХПК	1 440	1 280	1 000	1 320	1 240	1 050
БПК ₂₀	1 190	960	784	1 165	1 000	900
БПК ₅	710	488	432	616	472	312

Продолжение табл. 6.5

Показатели, мг/л	3			4		
	I	II	III	I	II	III
ХПК	1 240	1 160	1 040	1 400	1 200	1 010
БПК ₂₀	930	800	745	1 120	890	690
БПК ₅	720	560	512	768	576	480

Примечание. Стадии очистки: I — до усреднителя; II — после усреднителя до коагуляции; III — после коагуляции и отстаивания.

Из приведенных в табл. 6.5 эксплуатационных данных предприятия следует:

при среднесуточном значении 1350 мг/л ХПК сточных вод в процессе усреднения и аэрации снижается до 1220 мг/л, или на 10%, а при обработке коагулянтom и отстаивании — до 1025 мг/л, или на 16%; общее снижение ХПК сточных вод при их локальной обработке составляет 29%;

при среднесуточном значении 1100 мг/л БПК₂₀ сточных вод в процессе усреднения и аэрации снижается до 912 мг/л, или на 17%, а при обработке коагулянтom и отстаивании — до 780 мг/л, или на 14%; общее снижение БПК₂₀ сточных вод при локальной обработке равно 29%;

при среднесуточном значении 703 мг/л БПК₅ сточных вод в процессе усреднения и аэрации снижается до 524 мг/л, или на 25%, а при обработке коагулянтom и отстаивании — до 434 мг/л, или на 17%; общее снижение БПК₅ сточных вод при их локальной обработке составляет 38%.

При уточнении условий локальной очистки на предприятии были получены данные по снижению ХПК сточных вод в зависимости от дозы коагулянта — сернокислого алюминия (табл. 6.6). Из приведенных данных следует, что полученный по ХПК эффект локальной очистки в лабораторных условиях близок к эксплуатационным показателям. Необходимо иметь в виду, что в лабораторных условиях стоки не аэрировались, чем можно объяснить несколько худший эффект очистки. Очевидно, при аэрации происходит отдувка из стоков некоторой части содержащихся в них легколетучих растворителей, что не обеспечивалось в лабораторных условиях.

Таблица 6.6

Показатели	Исходный сток	Очищенный сток при дозе коагулянта, мг/л				
		250	450	750	900	1250
ХПК сточных вод, мг/л	1 340	1 046	1 000	1 022	1 069	1 070
Эффект очистки, %	—	22	25	24	24	24

Для уточнения некоторых условий очистки данных стоков на городских очистных сооружениях на предприятии были проведены опыты по неполной биологической очистке сточных вод без разбавления их городскими стоками. Эксперимент проводился в одноступенчатой модели аэротенка-смесителя. Нарастание и созревание микрофлоры активного ила продолжалось 30 сут до тех пор, пока его концентрация в аэротенке не достигла 2,5—2,7 г/л по сухому веществу. Концентрация растворенного кислорода в аэротенке поддерживалась на уровне не менее 2 мг/л. Видовой состав активного ила был представлен ограниченным числом простейших, в числе которых были *Lionotus fasciola*, *Opercularia* Sp., *Vorticella convallaria*.

Ниже приведены результаты биологической очистки сточных вод и технологические параметры работы модели аэротенка-смесителя:

ХПК до очистки, мг/л	960
БПК ₂₀ до очистки, мг/л	805
Взвешенные вещества до очистки, мг/л	61
ХПК после очистки, мг/л	386
БПК ₂₀ после очистки, мг/л	163
Взвешенные вещества после очистки, мг/л	56
Азот до очистки, мг/л:	
аммонийный	22

нитритов	0,03
нитратов	0,55
Фосфор до очистки, мг/л	1,2
Азот после очистки, мг/л:	
аммонийный	10,5
нитритов	0,02
нитратов	0,5
Фосфор после очистки, мг/л	0,8
Концентрация активного ила, г/л	2,6
Зольность ила, %	30
Время аэрации, ч	1,0
Иловый индекс, мл/г	100
Нагрузка по БПК ₂₀ на ил по беззольному веществу, мг/(гбв × сут)	1 061
Растворенный кислород в аэротенке, мг/л	2,0
Эффект очистки, %:	
по ХПК	60
по БПК ₂₀	80
Окислительная мощность системы, мг БПК/(гбв · сут)	849
Удельная скорость окисления, мг БПК/(гбв · ч)	35

Из этих данных видно, что около 80% органических загрязнений по БПК₂₀ являются легкоокисляемыми, о чем свидетельствует высокая удельная скорость окисления при неполной биологической очистке сточных вод [35 мг БПК/(гбв · ч)].

Полученные результаты позволили положительно решить вопрос о направлении сточных вод предприятия после локальной обработки на городские сооружения для их совместной полной биологической очистки со сточными водами всего города. Общее среднесуточное количество поступающих на городские сооружения сточных вод составляет 90 тыс. м³, из них на сточные воды витаминного предприятия приходится 17 тыс. м³ (производственные и бытовые). Сточные воды города и предприятия смешиваются в приемной камере городских очистных сооружений, последовательно проходят первичные отстойники, аэротенки, вторичные отстойники, обезвреживаются хлором и после контактных резервуаров поступают на сброс в водоем. Показатели работы городских очистных сооружений приведены в табл. 6.7.

Полученные данные характеризуют высокую эффективность работы городских очистных сооружений. Необходимо отметить, что показатели очистки по БПК являются усредненными за длительное время работы сооружений. Так, среднесуточное значение БПК₅ (отстоянной воды) в очищенной воде перед сбросом в водоем в отдельные периоды снижалось до 2,2 мг/л. Столь высокая степень очистки сточных вод по БПК на городских сооружениях явилась следствием того, что в сточных водах предприятия не содержатся трудноокисляемые или токсичные вещества, так как они локализованы и переданы в специально созданную на предприятии систему термической обработки.

В сточных водах витаминного предприятия в основном присутствуют легкоокисляемые вещества, которые в смеси с городскими стоками даже интенсифицируют работу городских аэрационных сооружений, что подтверждается результатами лабораторных исследований, приведенными на с. 160.

На городских очистных сооружениях приняты четырехкоридорные аэротенки (одна секция из трех аэротенков общим объемом 47 160 м³). Первый коридор выполняет функции регенератора, второй и третий — смесителя и четвертый — вытеснителя. Габариты аэротенка 104х36х5 м.

Таблица 6.7

Сточные воды	Показатели сточных вод, мг/л							
	ХПК	БПК5		O2	Взвешенные вещества	Зольность взвешенных веществ	Азот аммонийный	Фосфор
		взболтанной	отстойной					
Витаминного предприятия	838	406	—	—	43	19	27	0,84
Смесь сточных вод города и витаминного предприятия	379	247	205	—	131	60	21,4	7,5
После первичных отстойников	314	210	200	—	52	23	18,3	6,8
После азротенков	100	—	10,4	4,0	2950*	832*	6,8	6,5
Перед сбросом в водоем	56	6,4	4,8	4,0	18	7,8	4,1	3,0

*Содержание и зольность взвешенных веществ даны до вторичных отстойников.

Аэрационные сооружения имеют следующие технологические параметры работы:

Расход сточных вод, м ³ /сут	90 000
В том числе витаминного предприятия, м ³ /сут	17 000
ХПК, мг/л:	
до очистки	314
после очистки	102
БПК ₅ (отстоянной воды), мг/л:	
до очистки	200
после очистки	10,4
Взвешенные вещества, мг/л:	
до очистки	52
после очистки	18
Концентрация ила, г/л:	
в аэротенке	3,06
в регенераторе	5,0
Зольность ила, %	29
Объем аэротенка, м ³ :	
общий	47 160
собственно аэротенка	35 370
регенератора	11 790
Расход воздуха на аэрацию, м ³ /ч	30 000
Средняя продолжительность аэрации, ч	12,6
Доля циркулирующего ила, м ³ /ч	5700
Время пребывания, ч:	
иловой смеси в собственно аэротенке	3,8
ила в регенераторе	2,1
Время окисления, ч	5,8
Нагрузка по БПК ₅ на объем, г/(м ³ · сут)	382
Средняя доза ила в системе, г/л	3,55
Нагрузка по БПК ₅ на ил по беззольному веществу, мг/(гбв · сут)	152
Эффект очистки, %:	
по БПК ₅	94,8
по ХПК	67,5
Окислительная мощность системы, мг БПК ₅ /(гбв · сут)	144
Удельная скорость окисления за полный период аэрации, мг БПК ₅ /(гбв · ч)	6,0
Расход воздуха, м ³ :	
на 1 м ³ стоков	8,0
на 1 кг БПК ₅	40
Интенсивность аэрации, м ³ /(м ² · ч)	3,17
Иловый индекс, мл/г	70–160
Себестоимость очистки стоков на городских сооружениях, коп/м ³	6

6.3. ПРЕДПРИЯТИЕ № 3

6.3.1. Очистка сточных вод. Предприятие одновременно выпускает синтетические витамины В₁ (тиамин), В₂ (рибофлавин), С (аскорбиновая кислота), Е (токоферол), а также готовые лекарственные средства. В качестве примера приведена схема образования сточных вод при получении рибофлавина.

Производство рибофлавина состоит из следующих стадий, на каждой из которых образуются загрязненные стоки:

Первая стадия — получение 4-бром-о-ксилола. Сточные воды образуются при его промывке и в ловушках при улавливании паров брома.

Вторая стадия — получение 3,4-ксилидина. Стоки образуются после отгонки

ксилидина острым паром, а также после отделения ксилидина в виде водного фильтра.

Третья стадия — получение 4-арабоната калия. Стоки образуются в виде маточного раствора и промывных вод после фильтрации.

Четвертая стадия — получение D-арабоната кальция. В канализацию сливаются стоки в виде маточного раствора.

Пятая стадия — получение D-рибона- γ -лактона. Стоком является конденсат от выпарки рибоновой кислоты при замыкании ее в лактон.

Шестая стадия — получение D-рибозы.

Седьмая стадия — получение рибозида. Стоком этой стадии является кубовый водный остаток после отгонки спирта.

Восьмая стадия — получение рибитиламина. Сточные воды состоят из маточного раствора и стоков после отделения остаточного рибитиламина и промывных вод катализатора.

Девятая стадия — получение азорибитиламина. Здесь стоками являются маточный раствор и промывные воды.

Десятая стадия — получение барбитуровой кислоты. Сточные воды образуются от промывок.

Одиннадцатая стадия — получение рибофлавина. Стоками этой стадии являются водные промывки технического рибофлавина, маточный раствор и промывные воды.

На действующем предприятии система канализации предусматривает разделение сточных вод на производственные и бытовые. В соответствии с этим в производственных корпусах, на промышленной площадке и вне ее предусмотрены сети и коллекторы производственных и бытовых сточных вод. К предприятию примыкает жилой поселок, сточные воды которого поступают в сеть бытовой канализации предприятия. В составе предприятия функционируют сооружения полной биологической очистки, на которые по раздельным коллекторам поступают все сточные воды, в том числе и жилого поселка. Схема очистки следующая:

производственные сточные воды усредняются, затем нейтрализуются известковым или карбидным молоком и отстаиваются;

бытовые стоки проходят решетки, песколовки, двухъярусные отстойники и поступают в колодец-смеситель, куда подаются после отстаивания усредненные и нейтрализованные производственные стоки.

Смесь всех сточных вод насыщается биогенными добавками (азотом и фосфором) и поступает на биологическую очистку, состоящую из двух ступеней аэротенков. Затем стоки обезвреживаются хлором и по аэрируемому водотоку сбрасываются в водоем. Данная схема очистки разработана при проектировании I очереди сооружений и оставлена без изменений при их расширении.

Схема I очереди сооружений с точками отбора проб контроля показана на рис. 6.4. В качестве биоокислителей были приняты аэротенки-смесители. Для 1-й и 2-й ступеней биологической очистки принята одна и та же секция, состоящая из двух однокоридорных аэротенков с габаритами 57х9х4,6 м.

Общий объем каждой секции 4 720 м³. Первая очередь сооружений рассчитана на 7 000 м³/сут, в том числе 4 000 м³/сут производственных стоков. Сточные воды, поступавшие на I очередь сооружений, имели следующие среднегодовые показатели:

Температура, °C	10—21
pH	5,5—11,0
Прозрачность, см	1,5—6,5

Растворенный кислород, мг/л	0,1—0,3
Хлориды, мг/л	384—430
Азот аммонийный, мг/л	14,4—20
Фосфор, мг/л	0,2—1,4
Сульфаты, мг/л	819—890
Взвешенные вещества, мг/л	186—420
Вещества, экстрагируемые эфиром, мг/л	350—412
ХПК, мг/л	980—1 640
БПК ₅ , мг/л	630—1 120

Биологическая очистка производственных сточных вод происходит при незначительном разбавлении их бытовыми водами. Характер производства, используемое сырье и возможное содержание в стоках загрязняющих веществ типичны для химико-фармацевтических предприятий, поэтому анализ работы сооружений представляет значительный интерес при решении аналогичных вопросов. Чтобы установить, можно ли обобщать выводы и результаты, полученные при подобном анализе, предварительно были рассмотрены некоторые показатели состава сточных вод за полугодовой период работы очистных сооружений. Все показатели здесь и далее приведены на основе заводских данных. За указанный период установлено:

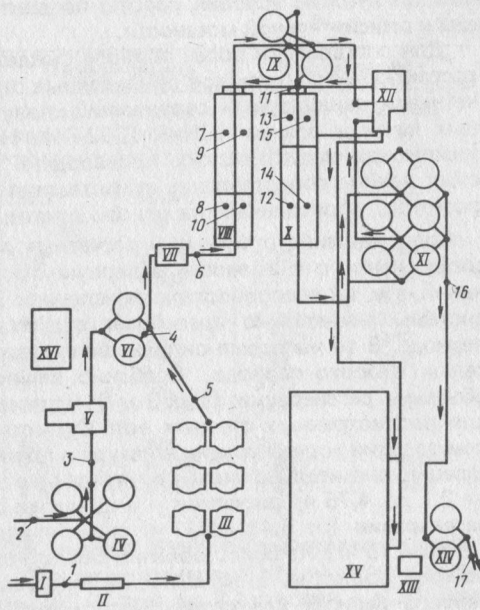
суточный расход сточных вод изменялся в пределах 11 000—14 000 м³ и составлял в среднем 13 000 м³;

БПК₅ сточных вод перед 1-й ступенью аэротенков, после нее и после 2-й ступени (точки 6, 11, 17) соответственно составляла: 500—800 мг/л при среднем значении 660 мг/л; 270—550 мг/л при среднем значении 400 мг/л; 40—200 мг/л при среднем значении 65 мг/л;

ХПК сточных вод в тех же точках была равна 750—1 200 мг/л при среднем значении 1 000 мг/л; 300—900 мг/л при среднем значении 700 мг/л; 200—500 мг/л при среднем значении 400 мг/л;

Рис. 6.4. Схема очистных сооружений предприятия

I — решетки; II — песколовка;
 III — двухъярусные отстойники;
 IV — усреднители; V — станция
 нейтрализации; VI — первичные
 отстойники; VII — реагентная
 станция; VIII — аэротенк 1-й
 ступени; IX — вторичные отстойники;
 X — аэротенк 2-й ступени;
 XI — третичные отстойники; XII —
 насосно-воздуходувная станция;
 XIII — хлораторная; XIV — кон-
 тактные резервуары; XV — иловые
 площадки; XVI — лаборатория
 1—17 точки отбора проб на анализ



содержание взвешенных веществ перед 1-й ступенью аэрации составляло 200–500 мг/л при среднем значении 320 мг/л.

В течение этого времени на предприятии наблюдалось относительно стабильное производство выпускаемой продукции, чем и обусловлены, по-видимому, относительно незначительные изменения состава сточных вод. Небольшой разброс значений анализируемых показателей и их повторяемость позволяют считать эксплуатационные данные, получаемые службой биологических очистных сооружений (БОС), достаточно надежными для технологической оценки работы сооружений. Такая оценка сделана на основании тщательной обработки журналов записи анализов по БОС за четырехлетний период их эксплуатации.

В качестве примеров проведены соответствующие расчеты по двум периодам одинаковой продолжительности, в течение которых сточные воды отличались между собой по составу. При расчетах приняты следующие данные: для первого периода $XPK = 936$ мг/л, $BPK_5 = 352$ мг/л при количестве сточных вод $5\,950$ м³/сут и для второго — $XPK = 1\,280$ мг/л, $BPK_5 = 1\,056$ мг/л при количестве сточных вод $14\,037$ м³/сут. Технологические показатели работы очистных сооружений приведены в табл. 6.8.

Из анализа этих показателей следует, что состав поступающих на очистку сточных вод изменяется в широких пределах. Однако концентрация загрязнений сточных вод не является решающим фактором, который определяет возможность и степень их очистки. Основное значение имеет способность загрязнений подвергаться окислению в заданных условиях.

Сопоставление значений BPK_5 , XPK и их соотношения, окислительной мощности и скоростей окисления по каждой из ступеней очистки рассматриваемых двух периодов работы БОС указывают на первостепенное значение характера содержащихся загрязнений. В связи с различным характером загрязнений сточных вод очистные сооружения имели совершенно разные технологические условия работы по длительности обработки воды, нагрузкам и окислительной мощности.

Для составления более полного суждения о работе сооружений в течение рассмотренных периодов приведенные отчетные данные сопоставлены с расчетными параметрами сооружений, полученными на основании Строительных норм и правил (СНиП II-32-74). Несмотря на то, что сточные воды химико-фармацевтических производств значительно отличаются от городских данное сопоставление представляет определенный интерес. Результаты расчетов, проведенных на основе отчетных данных, приведены в табл. 6.9.

Сопоставление отчетных и расчетных данных подтверждает изложенные соображения о значимости в первую очередь качества поступающих загрязнений, т.е. их способности к окислению. Так, расчетный объем аэрационной системы значительно превышает существующий для показателей первого периода. В то же время он меньше существующего по одноименным показателям второго периода. Особенно велика разница между существующим объемом регенерации ($1\,650$ м³) и расчетными значениями регенераторов для рассмотренных сточных вод. Существенна также разница между временем аэрации и регенерации в натуре и по расчетным данным. Расчетное время аэрации значительно меньше указанного в натуре (натурное — в пределах от 2,1 до 4,75 ч; расчетное — в пределах от 0,33 до 1,0 ч). Расчетное время регенерации (от 5,41 до 11 ч) значительно больше указанного в натуре (от 1,9 до 4,15 ч). Из сопоставления общего объема аэрационной системы, полученного расчетом, с объемом, используемым в натуре, следует, что воды первого периода для своей очистки требуют значительно большего объема

Таблица 6.8

Показатели	Первый период			Второй период		
	исход- ные стоки	1-я сту- пень	2-я сту- пень	исход- ные стоки	1-я сту- пень	2-я сту- пень
Расход стоков, м ³ /сут	5 950	—	—	14 037	—	—
БПК ₅ , мг/л	352	75	31	1 056	647	169
ХПК, мг/л	936	610	387	1 280	980	470
БПК ₅ /ХПК	0,38	0,12	0,08	0,83	0,66	0,36
Взвешенные вещества, мг/л	458	—	—	200	—	—
Доза ила, г/л:						
в аэротенке	—	2,6	3,0	—	2,45	2,9
в регенераторе	—	3,9	3,8	—	3,7	5,2
Расчетная продолжительность обработки, ч	—	19	19	—	8,1	8,1
Доля циркулирующего ила	—	1,6	2,1	—	1,58	0,97
Продолжительность аэрации, ч	—	4,75	4,0	—	2,1	2,52
Продолжительность регенерации, ч	—	4,15	3,16	—	1,9	2,61
Нагрузка на ил, мг БПК ₅ / (гбв · ч)	—	174	32,7	—	1 647	799
Эффект очистки по БПК ₅ , %	—	78,6	58,6	—	38,7	73
Окислительная мощность, мг БПК ₅ / (гбв · сут)	—	136	19,2	—	626	583
Скорость окисления, мг БПК ₅ / (гбв · сут)	—	5,7	0,8	—	26	24,3
Расход воздуха, м ³ /кг БПК ₅	—	72,8	275	—	41,8	35,8
Использование кислорода, %	—	5,5	1,5	—	9,5	11,1
Общий эффект очистки по БПК ₅ , %		91,1			83,9	

Таблица 6.9

Показатели	Первый период		Второй период	
	1-я сту- пень	2-я сту- пень	1-я сту- пень	2-я сту- пень
Расчетное время пребывания сточных вод в аэротенке, ч	20,2	22,86	6,87	6,64
Продолжительность, ч:				
аэрации	1,0	0,60	0,33	0,87
регенерации	11,0	10,0	6,41	5,41
окисления	12,0	10,6	6,74	6,28
Нагрузка, г БПК ₅ / (м ³ · сут)	418	79	3 689	2 260
Нагрузка, мг БПК ₅ / (гбв · сут)	220	30,4	1 942	942
Окислительная мощность, мг/ (гбв · сут)	173	17,6	738	688
Скорость окисления, мг/ (гбв · ч)	7,2	0,8	31,0	29,0
Расход воздуха, м ³ /кг БПК ₅	68,2	104,5	42,5	42,8
Объем, м ³ :				
зоны аэрации	645	461	380	977
зоны регенерации	4 365	5 208	3 633	2 907
общий аэротенка	5 009	5 669	4 013	3 884

аэрационной системы, особенно на 2-й ступени (5 669 м³ вместо имеющихся 4 720 м³, т.е. больше чем на 20%). При этом расчетный объем регенерации превышает имеющийся на 1-й ступени в 2,64 раза, на 2-й ступени — в 3,16 раза.

Технологические показатели работы биологических очистных сооружений за 4 года приведены в табл. 6.10. Для полноты технологического анализа работы очистных сооружений отдельно рассмотрены условия и степень окисляемости содержащихся в сточных водах органических загрязнений. Из приведенных параметров работы сооружений следует, что в течение рассматриваемого периода эффект очистки был недостаточно высоким и составил по БПК₅ 85% при отношении БПК₅/ХПК = 0,24, а по скорости окисления — 12,3 мг БПК₅/(гбв · ч). Несмотря на то, что процесс окисления в аэротенках проходил при низких скоростях, значительная часть поступающих со сточными водами органических загрязнений оставалась в них после очистки неокисленной. Это объясняется тем, что в сточных водах содержатся органические загрязнения с широким спектром окисляемости, причем многие химические вещества, используемые в химико-фармацевтическом производстве и поступающие в сточные воды, окисляются в несколько стадий, что, по-видимому, требует большего времени окисления.

Изложенное позволяет предполагать, что содержащиеся в сточных водах органические вещества неоднородны по их способности окисляться в заданных условиях. Поэтому для оценки работы очистных сооружений потребовалось иметь представление об окисляемости органических загрязнений, содержащихся в сточных водах до и после очистки, дифференцируя при этом загрязнения по их способности к окислению.

Обычно исследования и контроль сооружений биологической очистки осуществляются с помощью определения таких показателей, как ХПК и БПК. Однако эти показатели дают суммарную оценку качества воды и не позволяют провести необходимую расшифровку загрязнений. Для более полной расшифровки стока применен респирометр, разработанный во Всесоюзном научно-исследовательском институте водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии (ВНИИ ВОДГЕО) [2, 3]. Этот прибор, основанный на принципе непрерывной регистрации потребления кислорода в процессе окисления загрязнений сточных вод, с помощью полученной респирограммы позволяет определить количество кислорода, потребленное в любой точке процесса по времени; количество кислорода, потребленное на каждой стадии окисления; длительность каждой стадии окисления во времени; удельную скорость потребления кислорода на каждой стадии окисления; порядок и очередность окисления различных органических загрязнений, находящихся в смеси в сточных водах.

Поскольку на рассмотренных сооружениях биологическая очистка проходит в две ступени, отбор проб *A*, *B* и *C* для респирометрических исследований производился в следующих точках, указанных на схеме сооружений (см. рис. 6.4): *A* (точка 6) — на входе в аэротенк 1-й ступени; *B* (точка 11) — на входе в аэротенк 2-й ступени; *C* (точка 16) — на выходе из третичных отстойников. Для обеспечения одинаковых условий измерения во всех случаях использован ил из регенератора 1-й ступени биологической очистки. Пробы из указанных точек исследовались одновременно.

При одинаковой емкости всех трех опытных ферментеров, в которые заливалась исследуемая вода, была принята одинаковая концентрация ила $a = 3,64$ г/л, или 2,36 г/л по беззольному веществу. Таким образом, масса ила во всех исследуемых объемах была одинаковой.

На основе полученных респирограмм построен график зависимости скорости потребления кислорода (СПК) от времени при окислении воды анализируемых проб, отобранных из трех указанных точек (рис. 6.5). Полученные характеристики позволяют сравнить пробы указанных трех точек по макси-

Таблица 6.10

Год наблюдений	Ступень аэрации	БПК ₅ , мг/л			ХПК, мг/л			α , г/л	Иловый индекс, мл/г	t , ч	Нагрузка БПК ₅ /[(м ² ·ч) хсут]	ρ , мг БПК ₅ /(гбв·ч)	Расход воздуха, м ³ /м ³	Использованный кислород, %
		в поступающей воде	в выходящей воде	снижение, %	в поступающей воде	в выходящей воде	снижение, %							
Первый	1	551	270	50	830	578	30	1,4	140	16,3	793	12,0	33	2,8
	2 На выходе	270	75	72	578	362	37	1,6	178	16,3	384	7,2	34	2,0
		—	—	86	—	—	56	1,5	—	32,6	396	9,5	67	2,9
Второй	1	496	260	47	783	600	23	1,5	156	12,3	982	12,8	26	3,0
	2 На выходе	260	78	71	600	365	39	1,6	181	12,3	513	9,5	26	2,4
		—	—	85	—	—	53	1,6	—	24,6	491	11,0	52	2,7
Третий	1	561	323	42	890	679	24	1,7	166	9,5	1443	14,9	20	4,0
	2 На выходе	323	82	73	679	352	48	2,0	185	9,5	836	12,8	20	4,1
		—	—	85	—	—	60	1,8	—	19,0	721	14,2	40	4,0
Четвертый	1	736	391	47	985	616	37	2,2	112	9,9	1565	17,4	21	5,2
	2 На выходе	391	117	68	616	382	37	2,3	190	9,9	919	11,9	21	4,2
		—	—	84	—	—	61	2,2	—	19,8	906	14,4	42	4,3
Среднее	1	586	311	47	872	618	29	1,7	143	12,0	1196	14,3	25	3,8
	2 На выходе	311	88	72	618	365	41	1,9	183	12,0	663	10,3	25	3,2
		—	—	85	—	—	58	1,8	—	24,0	628	12,3	50	3,5

Примечание. α — средняя доза ила в аэрационной системе по беззольному веществу; t — расчетное время пребывания сточных вод в аэротенке; ρ — скорость окисления.

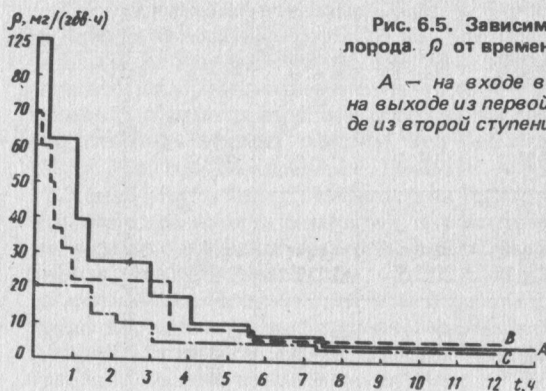


Рис. 6.5. Зависимость скорости потребления кислорода ρ от времени

A — на входе в первую ступень аэротенка; B — на выходе из первой ступени аэротенка; C — на выходе из второй ступени аэротенка

мальному значению СПК, количеству потребленного кислорода и времени окисления. Одновременно содержащиеся в стоке загрязнения дифференцируются по их способности к биодеструкции, что позволяет проследить за окислением веществ с различной окисляемостью по ходу процесса очистки.

Из кинетики потребления кислорода (см. рис. 6.5) следует, что зависимость скорости окисления от времени имеет ступенчатый характер, отражающий стадийность процесса окисления. Респирограммой установлено 8 стадий с различными скоростями и временем окисления для точки A , 9 стадий для точки B , 5 стадий для точки C . Из респирограммы получены значения скорости и времени окисления для каждой из стадий. Количество потребленного кислорода на каждой стадии можно определить из выражения

$$\Delta S_n = \rho_n \Delta t_n \alpha (1 - 3\lambda) P / 60,$$

где ρ_n — значение СПК для n -й стадии, мг O_2 /(гбв · ч); Δt_n — длительность n -й стадии, мин; α — концентрация активного ила в ферментерах, г/л; P — кратность разбавления исходной пробы; 3λ — зольность ила в долях (для рассмотренного случая принята равной 0,35).

Количество потребленного кислорода по всем стадиям каждой пробы численно равно БПК_{полн} данных сточных вод. Величина ρ и номер стадии n являются качественной характеристикой, ΔS_n — количественной.

Проведенные измерения показали, что окисление загрязнений происходит последовательно в порядке их уменьшающейся способности к биодеструкции. Значения скорости потребления кислорода, длительности окисления и полученное расчетное количество потребленного кислорода в указанных точках очистных сооружений приведены в табл. 6.11.

В связи с тем, что во всех трех анализируемых пробах (A, B, C) невозможно найти совпадающие значения СПК, полученный спектр окисляемости разделен на 8 групп по признаку способности к окислению. Группа I окисляется очень легко, группа VIII практически не окисляется.

При разделении на группы приняты следующие интервалы по СПК, мг/(гбв · ч): группа I — более 70; группа II — 70–60; группа III — 60–25; группа IV — 25–15; группа V — 15–10; группа VI — 10–8; группа VII — 8–7; группа VIII — менее 7.

Неравномерность интервалов СПК объясняется тем, что с ее снижением в ходе процесса уменьшается разница между значениями отдельных стадий.

Из табл. 6.11 следует, что для пробы из точек A $S_x = 157,7$ мг/л; $S_x =$

Таблица 6.11

Точка отбора проб	Номера стадий	ρ_n , мг/(гбв · ч)	Группа окисляемости	Δt_n , мин	S_n , мг/л
А	1	125	I	16	157,7
	2	61,5	II	47	228,0
	3	40,3	III	19	60,4
	4	27,8	III	94	206,0
	5	17,8	IV	61	85,6
	6	12,0	V	91	86,1
	7	9,3	VI	107	78,5
	8	7,0	VII	243	134,2
Итого					1036,5
В	1	70	II	8	29,5
	2	60,5	II	18	57,2
	3	49,4	III	6	15,6
	4	37	III	16	31,1
	5	31,2	III	19	31,2
	6	21,3	IV	141	158,6
	7	10,6	V	133	74,1
	8	8,2	VI	133	57,3
	9	7,4	VII	118	45,9
Итого					500
С	1	19,8	IV	90	93,7
	2	13,2	V	30	20,8
	3	9,5	IV	52	26,0
	4	7,9	VI	237	98,4
	5	6,7	VII	163	57,4

≈ 228 мг/л; $S_{II} = 266,4$ мг/л; $S_{IV} = 85,6$ мг/л; $S_V = 86,2$ мг/л; $S_{VI} = 78,5$ мг/л; $S_{VII} = 134,2$ мг/л; $S_A = 1036,5$ мг/л;

для пробы из точки В $S_{II} = 86,7$ мг/л; $S_{III} = 77,9$ мг/л; $S_{IV} = 158$ мг/л; $S_V = 74,1$ мг/л; $S_{VI} = 57,3$ мг/л; $S_{VII} = 45,9$ мг/л; $S_B = 500$ мг/л;

для пробы из точки С $S_{IV} = 93,7$ мг/л; $S_V = 20,8$ мг/л; $S_{VI} = 26$ мг/л; $S_{VII} = 98,4$ мг/л; $S_{VIII} = 57$ мг/л; $S_C = 296,3$ мг/л.

Спектры окисляемости в точках А, В, С позволяют определить в сточных водах относительное содержание каждой группы компонентов с различной способностью к биодеструкции, показывая при этом изменения, которые происходят в процессе очистки с каждой группой компонентов. Относительное содержание компонентов в исследованных пробах, %:

$$S_A = 100 = 15,3 \text{ (I)} + 22,0 \text{ (II)} + 25,7 \text{ (III)} + 8,2 \text{ (IV)} + 8,3 \text{ (V)} + 7,5 \text{ (VI)} + 13,0 \text{ (VII)};$$

$$S_B = 100 = 17,3 \text{ (II)} + 15,50 \text{ (III)} + 31,8 \text{ (IV)} + 14,8 \text{ (V)} + 11,4 \text{ (VI)} + 9,2 \text{ (VII)};$$

$$S_C = 100 = 31,7 \text{ (IV)} + 7 \text{ (V)} + 8,7 \text{ (VI)} + 33,3 \text{ (VII)} + 19,3 \text{ (VIII)}.$$

Изменения, которые происходят в данных сточных водах в процессе очистки по ступеням азрации, показаны в табл. 6.12.

Таблица 6.12

Группы окисляемости	Окисляемость сточных вод по ступеням аэрации		
	на входе в аэротенк 1-й ступени (точка А)	на входе в аэротенк 2-й ступени (точка В)	на выходе из третичных отстойников (точка С)
	в мг/л		
I	157,7	0	0
II	228	86,7	0
III	266,4	77,9	0
IV	85,6	158,0	93,7
V	86,1	74,1	20,8
VI	78,5	57,3	26,0
VII	134,2	45,9	98,4
VIII	0	0	57,4
	в %		
I	15,3	0	0
II	22,0	17,3	0
III	25,7	15,5	0
IV	8,2	31,8	31,7
V	8,3	14,8	7
VI	7,5	11,4	8,7
VII	13	9,2	33,3
VIII	0	0	19,3

Как видно из полученных результатов, при БПК_{полн} поступающих на очистку сточных вод 1036,5 мг/л в аэротенке 1-й ступени окисляется 536,6 мг/л, или 51,8%; в аэротенке 2-й ступени — 203,6 мг/л, или 40,7% поступающих загрязнений.

На 1-й ступени снижение загрязненности произошло главным образом за счет окисления загрязнений I, II, III групп, т.е. наиболее легкоокисляющихся веществ. При этом I группа окислилась полностью. Значительно возросли загрязнения группы IV. Очевидно, это связано с образованием метаболитов от окислившихся загрязнений первых трех групп. Значительных изменений в V и VI группах не произошло. Это можно объяснить тем, что появление метаболитов, образовавшихся при окислении легкоокисляющихся загрязнений, тормозит дальнейшую очистку и что окисляемость загрязнений происходит в порядке очередности по убывающим значениям СПК. На 2-й ступени эффект значительно ниже, чем на 1-й. Полностью окисляются загрязнения II и III групп, частично IV, V, VI групп, более чем в 2 раза возрастает загрязненность VII группы и появляются наиболее трудноокисляемые загрязнения, образующие группу VIII по СПК. Спектр окисляемости представлен на рис. 6.6:

В целом в процессе двухступенчатой очистки полностью окисляются загрязнения I, II и III групп, частично — IV, V и VI групп. Загрязнения VII группы на 1-й ступени окисляются на 66%, однако за счет метаболитов и неокислившихся форм после 2-й ступени их содержание возрастает на 214%. Одновременно после 2-й ступени в сточных водах появляются ранее отсутствовавшие загрязнения в количестве 57,4 мг/л, которые по СПК отнесены к группе VIII. Это наиболее трудноокисляемые загрязнения, которые могли образоваться за счет продуктов метаболизма окислившихся форм.

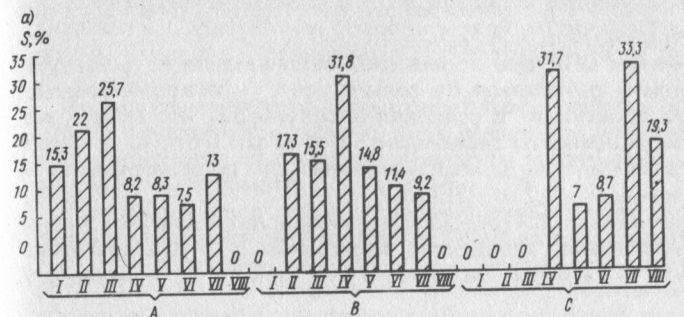
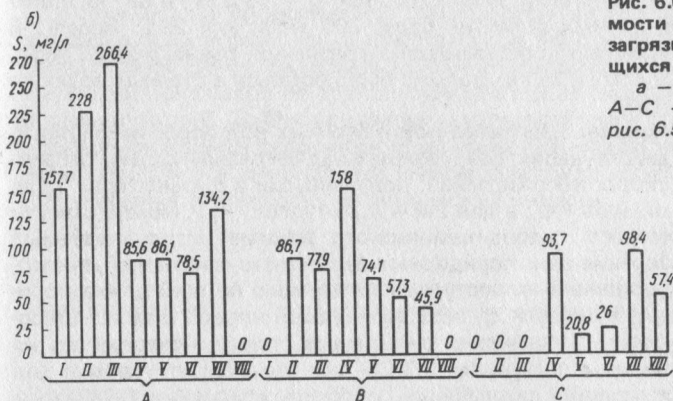


Рис. 6.6. Спектр окисляемости различных групп загрязнений, содержащихся в сточных водах
а — в %; б — в мг/л;
А—С — то же, что на рис. 6.5



Учитывая характер сточных вод химико-фармацевтических предприятий, можно предположить, что загрязнения, характеризующиеся скоростью окисления не менее 20 мг/(гбв · ч), окисляются полностью в двухступенчатых аэрационных системах. Загрязнения с меньшим значением СПК окисляются частично. При этом степень их окисления при прочих равных условиях зависит от количества образовавшихся метаболитов, т.е. от количества легкоокисляемых загрязнений, присутствующих в данных стоках совместно с прочими загрязнениями. Из данного предположения следует, что чем меньше в сточных водах содержится легкоокисляемых загрязнений, тем глубже возможна очистка таких стоков, характеризующихся широким спектром окисляемости.

Согласно табл. 6.11 и 6.12, можно принять для сточных вод химико-фармацевтических производств следующее разделение загрязнений по СПК: легкоокисляемые — при ρ более 20 мг/(гбв · ч); среднеокисляемые — при ρ от 20 до 12 мг/(гбв · ч); трудноокисляемые — при ρ менее 12 мг/(гбв · ч).

Из данных таблиц следует, что на 1-й ступени очистка проходила при значениях ρ от 125 до 20 мг/(гбв · ч), а на 2-й — от 60 до 8 мг/(гбв · ч).

СПК, установленные с помощью респирометрических измерений, по своим значениям близки к скоростям окисления, наблюдавшимся в натурных условиях. Так, в соответствии с журнальными записями службы эксплуатации очистных сооружений средние значения скоростей окисления за период

измерения составляли для 1-й ступени аэротенков 15,5 мг / (гбв · ч) , а для 2-й ступени — 9,2 мг / (гбв · ч) .

При данных значениях СПК при нормальной эксплуатации на действующих аэротенках должны окисляться не только все : легкоокисляемые загрязнения, как это происходит в условиях эксплуатации, но также и все среднеокисляемые загрязнения со значениями $\rho = 12$ мг / (гбв · ч) , а также некоторая часть загрязнений с меньшими значениями ρ [по эксперименту — 8, по натурным измерениям — 9,2 мг / (гбв · ч)] .

Однако, как видно из табл. 6.11 и 6.12, в сточных водах после 1-й ступени очистки остается значительное количество загрязнений с СПК в диапазоне от 60 до 20 мг / (гбв · ч) , а после 2-й ступени — с СПК от 20 и менее мг / (гбв · ч) .

Предполагается, что после 1-й ступени из общего количества оставшихся загрязнений, равного 536,6 мг/л, или 51,8%, при $\rho = 15,5$ мг / (гбв · ч) должно было остаться в сточных водах не более 299 мг/л, или 29%; после 2-й ступени из общего количества оставшихся загрязнений, равного 296,3 мг/л, или 28,6%, при $\rho = 9,2$ мг / (гбв · ч) должно было остаться в сточных водах не более 156 мг/л, или 15%.

Значительное превышение загрязненности сточных вод после их биологической очистки на действующих сооружениях над загрязненностью, ограниченной значениями скоростей окисления, полученными в ферментерах [для 1-й ступени — 15,5 мг / (гбв · ч) , а для 2-й — 9,2 мг / (гбв · ч)] , можно отнести за счет неблагоприятного гидродинамического режима эксплуатируемых аэротенков. Использование однокоридорных аэротенков-смесителей, в которых сточная вода и активный ил поступают на аэрацию по всей длине коридора, интенсивно перемешиваясь со всей аэрируемой иловой смесью, широкий спектр окисляемости загрязнений очищаемых стоков и очередность их окисления по убывающим значениям СПК — все это создает условия для проскока части поступающих загрязнений, у которых значения СПК выше установленных рабочим режимом.

Полученные при многолетней эксплуатации технологические параметры работы аэротенков очистных сооружений и проведенные респирометрические исследования по расшифровке состава стоков в процессе их двухступенчатой очистки показывают, что для сточных вод химико-фармацевтических производств аэротенки-смесители не обеспечивают благоприятного гидродинамического режима потока для окисления загрязнений с широким спектром СПК.

Установлено, что аэрационная система может быть оптимизирована путем изменения соотношения объемов собственно аэротенка и регенератора и рационального распределения общего количества подаваемого воздуха между этими двумя зонами. Для рассмотренных сточных вод объем регенератора может составлять 65% объема системы при распределении общего расхода воздуха поровну между регенератором и собственно аэротенком.

Исходя из полученных зависимостей СПК по времени наиболее благоприятным для рассмотренных стоков является применение аэротенка-вытеснителя [4]. Полученные результаты позволили определить следующие условия для технологической оптимизации работы аэротенка на изученных сточных водах отрасли:

очистка должна проходить в аэротенках с регенераторами;

объем регенерации в среднем должен составлять 65% объема аэрационной системы, изменяясь в зависимости от количества и состава сточных вод в пределах, которые определены полученными опытными данными, т.е. от 29 до 84%;

количество подаваемого в аэрационную систему воздуха должно распределяться в общем случае поровну между собственно аэротенком и регенератором, изменяясь в зависимости от соотношения их объемов в пределах от 20 до 60%;

по гидродинамической структуре потока наиболее благоприятной с точки зрения окисляемости сточных вод с различным значением СПК является система вытеснения, при которой окисление загрязнений происходит в порядке очередности по убывающим значениям СПК.

При дальнейшем развитии рассмотренных очистных сооружений перечисленные условия были выполнены. Схема модифицированного аэротенка-вытеснителя с переменными объемом регенерации и количеством подаваемого воздуха в зоны показана на рис. 6.7. Модифицированный аэротенк, удовлетворяющий заданным условиям, в настоящее время эксплуатируется в схеме сооружений в качестве 1-й ступени биологической очистки.

В течение года биологическая очистка сточных вод предприятия осуществлялась в три ступени, где в качестве 2-й и 3-й ступеней работали существовавшие ранее однокоридорные аэротенки-смесители. Полученные за год эксплуатации показатели по трехступенчатой схеме биологической очистки приведены в табл. 6.13. Эти показатели свидетельствуют о достаточно высоком эффекте окисления органических загрязнений, несмотря на то, что в сточных водах содержится значительное количество трудноокисляемых и токсичных по отношению к микрофлоре химических веществ.

Таблица 6.13

Место отбора проб	Среднегодовые показатели, мг/л			ХПК	БПК ₅
	ХПК	БПК ₂₀	БПК ₅	БПК ₂₀	БПК ₂₀
Производственные сточные воды после усреднения, нейтрализации и отстаивания	1 517	1 049	776	1,45	0,74
Смесь производственных и бытовых стоков перед реагентной станцией	1 081	925	601	1,17	0,65
Сточные воды после ступени биологической очистки:					
1-й	595	386	274	1,54	0,71
2-й	250	76	57	3,29	0,75
3-й	207	50	27	4,14	0,54

Сопоставление показателей биологической очистки на 1-й ступени действующих очистных сооружений, приведенных в табл. 6.12, с показателями, приведенными в табл. 6.10, указывает на то, что модифицированный аэротенк обеспечивает более высокие показатели очистки. Так, в опытном аэротенке эффект очистки на 1-й ступени составил 45% по ХПК и 54,5% по БПК₅. При обработке сточных вод в аэротенках-смесителях эффект очистки на 1-й ступени составлял 29% по ХПК и 47% по БПК₅. Таким образом, в опытном аэротенке эффект очистки был увеличен по ХПК на 37%, по БПК₅ на 15%.

В результате окисления значительной части загрязнений на 1-й ступени аэротенка созданы более благоприятные условия работы биоценоза для последующего окисления загрязнений, что позволило достигнуть эффекта биологической очистки в целом 81% по ХПК и 95,5% по БПК₅.

До ввода в эксплуатацию модифицированного аэротенка эффект очистки

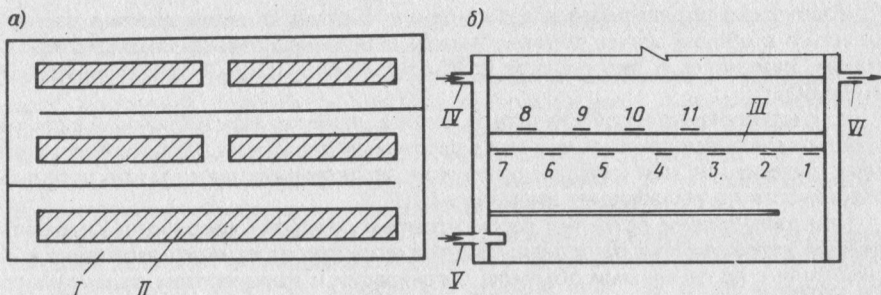


Рис. 6.7. Аэротенк с изменяющимся объемом регенерации и соотношением расхода воздуха между зонами аэрации и регенерации

а — план с аэрируемой зоной; б — план с рабочими окнами на распределительном лотке; I — общая площадь аэротенка F; II — площадь аэрируемой зоны; III — распределительный лоток с рабочими окнами; IV — лоток подачи стоков на аэрацию; V — трубопровод подачи ила на регенерацию; VI — отводящий лоток иловой смеси; 1—11 номера рабочих окон

в целом по аэрационной системе (см. табл. 6.10) составлял 58% по ХПК и 85% по БПК₅. Как видно из приведенных показателей, эксплуатация модифицированного аэротенка позволила увеличить эффект очистки по сравнению с ранее имевшимся по ХПК на 29%, по БПК₅ — на 11%.

Данные годовой эксплуатации очистных сооружений по трехступенчатой биологической очистке, где на первой ступени работал модифицированный аэротенк-вытеснитель, приведены в табл. 6.14.

Таблица 6.14

Показатели	Исходные сточные воды	Значения показателей на ступени очистки		
		1-й	2-й	3-й
Расход стоков, м ³ /сут	13 500	13 500	13 500	13 500
БПК ₅ , мг/л	601	274	57	27
ХПК, мг/л	1 081	595	250	207
БПК ₅ /ХПК	0,56	0,46	0,23	0,13
Доза ила, г/л:				
в аэротенке	—	1,8	1,7	1,9
в регенераторе	—	2,6	3,2	3,4
Расчетная продолжительность обработки стоков, ч	—	13,5	8,4	8,4
Доля циркулирующего ила	—	2,25	1,13	1,27
Продолжительность аэрации, ч	—	2,8	2,6	2,4
Продолжительность регенерации, ч	—	2,0	2,6	2,3
Нагрузка на ил, мг БПК ₅ / (гбв · сут)	—	747	536	103
Эффект очистки по БПК ₅ , %	—	54,4	79,2	52,6
Окислительная мощность, мг БПК ₅ / (гбв · сут)	—	406	424	54
Скорость окисления, мг БПК ₅ / (гбв · ч)	—	17,0	17,7	2,2
Общий эффект очистки по БПК ₅ , %	—	—	—	95,5
Общий эффект очистки по ХПК, %	—	—	—	81,0

6.3.2. Интенсификация работы аэрационных систем. Приведенные в табл. 6.14 значения БПК₅ и ХПК очищенных сточных вод (соответственно 27 и 207 мг/л) показывают, что даже при трехступенчатой биологической обработке с учетом принятой оптимизации аэрационной системы для производственных сточных вод химико-фармацевтических производств, которые незначительно разбавляются бытовыми стоками (только за счет собственно жилого поселка), глубокая биологическая очистка не достигается. В то же время результаты исследований и данные эксплуатации позволяют считать, что возможности оптимизированной аэрационной системы за счет варьирования объемов регенерации и собственно аэрации и перераспределения подаваемого в зоны воздуха по существу исчерпаны.

Учитывая характер данных производственных сточных вод и значительное содержание в них трудноокисляемых химических веществ, можно предполагать, что интенсификация аэрационной системы возможна путем изъятия из сточных вод некоторой части трудноокисляемых веществ. Проведенные на предприятии исследования по сорбции этих веществ с помощью активированного угля подтвердили возможность интенсификации аэрационных процессов [5].

Для сточных вод столь сложного состава предложен сорбционно-биологический метод их очистки, при котором дозируемый порошкообразный сорбент подается непосредственно в зону аэрации аэротенка. В практике очистки сточных вод сорбция применяется для извлечения из сточных вод ценных продуктов с целью возврата их в производство и для удаления токсичных химических веществ.

Процессы сорбции достаточно изучены. Наибольший интерес представляет активированный уголь (АУ). Известно, что на процесс сорбции влияет взаимодействие молекул растворенного вещества с поверхностью сорбента и с молекулами воды, т.е. способность молекул растворенного вещества присоединять молекулы воды. Чем выше эта способность, тем менее эффективны процессы сорбции. Активированные угли хорошо сорбируют гидрофобные соединения (например углеводороды) и значительно хуже гидрофильные (например низшие спирты). Сорбционное взаимодействие проявляется особенно сильно, когда в структуре органических молекул имеются кратные связи. Сорбционная очистка мало пригодна для извлечения из воды низших одноатомных спиртов, ацетона и т.д.

Различают сорбцию статическую, при которой частица сорбента движется с частицей сорбата, и динамическую, при которой частица сорбата перемещается относительно частицы сорбента. При сорбционно-биологической очистке происходит статическая сорбция. В этом случае биологически окисляемые химические вещества сорбируются как на активном иле, так и на сорбенте (углях). Неокисляющиеся химические вещества сорбируются в основном на углях.

При проведении исследований было установлено, что введение в аэрируемую смесь порошкообразного активированного угля (ПАУ) способствовало быстрейшему оседанию ила после завершения аэрационного процесса. Ил был плотнее. Надиловая жидкость после отстаивания в течение 1 ч имела менее интенсивные запах и окраску. В иле стало значительно меньше нитчатых, возросло число коловраток. Снизилось также пенообразование в аэротенке.

Результаты, полученные при двухступенчатой биологической очистке, даны в табл. 6.15. Исследования проводились на площадке действующих очистных сооружений предприятия на установке, воспроизводящей работу этих сооружений. Параллельно исследовались четыре пробы: контрольная и

Таблица 6.15

Показатели	Исходный состав сточных вод	Контрольная очистка	Очистка с ПАУ концентрацией, мг/л		
			100	300	500
1-я ступень аэрации					
ХПК, мг/л	745	370	230	220	130
БПК ₅ , мг/л	530	210	120	—	—
Цветность	1:300	1:150	1:80	1:7	1:2,5
Иловый индекс, мл/г	—	157	144	138	91
Скорость окисления, мг БПК ₅ /(гбв · ч)	—	18,8	24,3	26,4	27,0
2-я ступень аэрации					
ХПК, мг/л	560	260	200	170	150
БПК ₅ , мг/л	250	35	30	22	19
Цветность	1:100	1:25	1:10	1:6	1:6
Иловый индекс, мл/г	—	392	333	273	200
Скорость окисления, мг БПК ₅ /(гбв · ч)	—	15,6	15,9	16,5	16,7

три с добавлением ПАУ концентрацией 100, 300, 500 мг/л. Здесь и далее работа проводилась с порошкообразным щелочным углем марки А, который используется на предприятии в технологии производства витаминов.

Несмотря на то, что условия, принятые для эксперимента, соответствуют технологическим показателям действующих аэротенков (качество исходного стока, период аэрации, концентрации активного ила и растворенного кислорода), качество очистки сточных вод в контрольном ферментере выше, чем в натуральных условиях.

В первой серии экспериментов в контрольном ферментере содержание загрязнений в воде снижается по ХПК до 370 мг/л, по БПК₅ — до 210 мг/л, тогда как в действующих аэротенках 1-й ступени в тот же период для тех же исходных сточных вод содержание загрязнений снижается: по ХПК до 616 мг/л, по БПК₅ до 391 мг/л. Аналогичные результаты наблюдались для второй серии эксперимента по отношению к воде, прошедшей 2-ю ступень аэротенков.

При работе с водой, поступающей на 1-ю ступень аэротенков, получены следующие результаты по ХПК при исходном значении 745 мг О₂/л: в контроле — 370 мг/л; при дозах АУ, равных 100, 300 и 500 мг/л, соответственно 230, 220, 130 мг/л (при концентрации ила во всех ферментерах 2 г/л и его зольности 30%).

Во второй серии эксперимента с водой, поступающей на 2-ю ступень аэротенков, получены следующие результаты по ХПК при исходном значении 560 мг/л: в контроле — 260 мг/л; при дозах АУ, равных 100, 300 и 500 мг/л, соответственно 200, 170 и 150 мг/л (при концентрации ила во всех ферментерах 1,7 г/л и зольности ила 32%).

Активированный уголь улучшает эффект очистки по ХПК за 12 ч аэрации при дозах 100, 300 и 500 мг/л на 1-й ступени соответственно на 19, 20 и 33%, и на 2-й ступени — на 11, 16 и 20%. Введение в зону аэрации угля увеличивает окислительную мощность аэротенка для сточных вод 1-й ступени более чем в 2 раза по сравнению со 2-й ступенью.

Приведенные результаты указывают на большую эффективность приме-

нения угля при обработке сточных вод на 1-й ступени биологической очистки. При этом происходит максимально возможное изъятие из сточных вод сорбируемых трудноокисляемых химических веществ, что делает более эффективной всю последующую биологическую очистку в аэрационной системе.

Установлено, что поданный в зону аэрации уголь совместно с отработанным активным илом возвращается в регенератор, где проходит реактивацию за счет окисления сорбированных им углерод- и азотсодержащих загрязнений при наличии избытка растворенного кислорода в зоне регенерации.

Количество постоянно подаваемого в стоки угля должно восполнять его потери, т.е. компенсировать его унос с выводимым из системы избыточным активным илом, а также с выносом взвешенных веществ из вторичных отстойников. Потери угля определяются в процессе эксплуатации аэрационной системы в зависимости от прироста избыточного активного ила и эффекта работы отстойников. Для предварительного определения объема требуемого угля его унос из системы рекомендуется принимать пропорционально приросту активного ила. В этом случае доза ПАУ, мг/л, восполняющая его потери, определяется зависимостью:

$$G = 1,1Pq/100,$$

где 1,1 — коэффициент увеличения дозы за счет выноса активного ила из отстойников; P — прирост избыточного ила, % от его средней концентрации в аэрационной системе; q — рабочая доза ПАУ в аэрационной зоне, установленная экспериментально, мг/л.

При средней концентрации ила в аэрационной системе 3 г/л, количестве поступающих на очистку сточных вод 5000 м³/сут, содержании в них взвешенных веществ 250 мг/л, БПК_{полн} = 1500 мг/л и рабочей дозе ПАУ 200 мг/л прирост ила P составляет около 0,65 г/л, или 22% средней концентрации ила; доза ПАУ на восполнение потерь $G = 1,1 \cdot 22 \cdot 0,2/100 = 0,048$ кг/м³, а требуемое количество ПАУ в сутки $G_{\text{сут}} = 0,048 \cdot 5000 = 240$ кг.

Известно, что активированный порошкообразный щелочной уголь марки А является дорогостоящим сорбентом (стоимость 1 т угля 485 руб.). Поэтому использование чистого угля в указанном количестве для очистки сточных вод без его улавливания и регенерации может быть слишком дорогим. Имеющийся отечественный и зарубежный опыт по улавливанию и регенерации углей при очистке воды указывает на принципиальную возможность создания необходимой системы по его регенерации. Однако специфика технологии химико-фармацевтических производств позволяет решить вопрос обеспечения очистных сооружений углем более простым и экономичным способом.

Известно, что в технологическом процессе производства многих химико-фармацевтических препаратов на различных стадиях широко используется порошкообразный активированный уголь, который затем обезвоживается и вывозится в отвал либо сжигается. В связи с высокими требованиями к чистоте угля, используемого в технологии производства лекарств, отработанный уголь, как правило, не регенерируется для вторичного использования. Однако этот уголь в значительной степени сохраняет свои сорбционные свойства, и количество его достаточно для использования при сорбционно-биологической очистке сточных вод. Например, по существующей технологии производства аскорбиновой кислоты на стадиях получения сорбита и очистки медицинской аскорбиновой кислоты (МАК) используется порошкообразный активированный уголь марки А в количестве 0,16 т угля на 1 т МАК.

При мощности производства медицинской аскорбиновой кислоты на предприятии 500 т/год количество использованного ПАУ составляет 80 т/год. Отработанный уголь обезвреживается и в дальнейшем не используется для технологических целей.

В связи с этим была изучена эффективность использования отработанного в технологии угля для сорбционно-биологической очистки сточных вод. Установлено, что равная эффективность очистки сточных вод достигается при дозе отработанного угля, равной 1,5 дозы чистого угля, т.е. в этом случае

$$G_{отр} = 1,5 \cdot 1,1 \text{ Пг} / 100 \text{ мг/л.}$$

Производственные испытания сорбционно-биологического метода очистки сточных вод, проведенные на действующих очистных сооружениях одного из химико-фармацевтических предприятий, позволяют рекомендовать для предварительных расчетов следующую удельную сорбционную нагрузку по ХПК на 1 мг ПАУ: для чистых углей — 1,4 мг ХПК, для отработанных углей — 1,0 мг ХПК.

При использовании сорбционно-биологического метода вследствие применения АУ интенсифицируется окислительная способность активного ила, в результате чего значительно глубже проходят процессы биологического окисления содержащихся в сточных водах органических загрязнений и увеличивается окислительная мощность активного ила. Степень биологической окисляемости загрязнений в среднем увеличивается до 20%.

Основные показатели работы 1-й ступени биологической очистки, полученные на действующих очистных сооружениях отрасли с использованием сорбционно-биологического метода, где в качестве сорбента использовался отработанный ПАУ марки А, показаны в табл. 6.16. При этом доза отработанного ПАУ на восполнение потерь составила 90 мг/л.

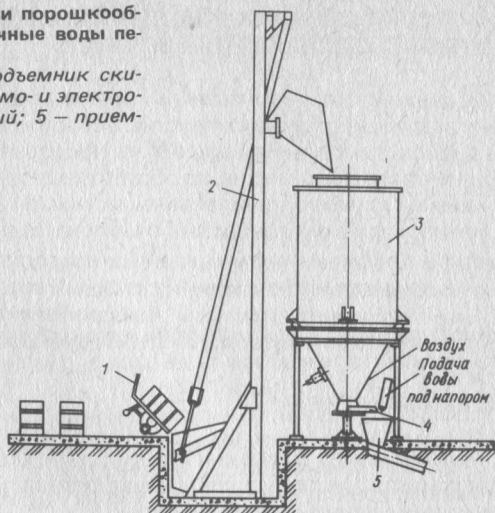
Таблица 6.16

Показатели	Контроль (биологическая очистка)	Производственные испытания (адсорбционно-биологическая очистка с ПАУ)
Окраска	Желтая	Бледно-желтая
Запах	Расворителей	Слабоулавливаемый
Высота слоя пены над уровнем иловой смеси в регенераторе, м	1,5	1,0
ХПК, мг/л, в воде:		
поступающей	890	890
выходящей	630	500
БПК ₅ , мг/л, в воде:		
поступающей	640	640
выходящей	313	121
Иловый индекс, мл/г	210	159
Зольность ила, %	28	28
Нагрузка по БПК ₅ , г/(м ³ · сут)	1834	1834
Нагрузка по БПК ₅ , мг/(гбв · сут)	794	794
Эффект очистки по БПК ₅ , %	51,2	81,1
Окислительная мощность по БПК ₅ , мг/(гбв · сут)	406	644
Скорость окисления по БПК ₅ , мг/(гбв · ч)	16,9	26,8

При подаче отработанного АУ, потребность в котором обеспечивается за счет его образования в основном производстве, способность угля реактивироваться в регенераторе не имеет решающего значения.

Рис. 6.8. Промышленная схема подачи порошкообразного активированного угля в сточные воды перед 1-й ступенью аэрации

1 — тележка-кантователь; 2 — подъемник скиповый; 3 — буферная емкость с пневмо- и электропобудителем; 4 — питатель тарельчатый; 5 — приемный поток



Для реализации системы сорбционно-биологической очистки в производственных условиях разработана промышленная схема подачи отработанного порошкообразного активированного угля в сточные воды перед их поступлением в зону аэрации аэротенков (рис. 6.8).

Внедрение метода адсорбционно-биологической очистки с применением отработанного порошкообразного активированного угля позволит интенсифицировать работу аэриационных систем и значительно улучшить технологические показатели, в том числе эффект очистки, на очистных сооружениях предприятий по производству химико-фармацевтических препаратов.

Список литературы

1. Шнайман Л.О. Производство витаминов.—М.: Пищевая промышленность, 1973.
2. Куликов А.И. Разработка и применение приборов респирометрического контроля. — Труды ВНИИ ВОДГЕО.—М.: 1976, вып. 59, с. 64—65.
3. Куликов А.И., Смирнов Д.Н. Применение новых автоматизированных респирометров для исследования процессов биохимической очистки. — Водоснабжение и санитарная техника, 1977, № 5, с. 9—12.
4. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. и др. Технологическая оптимизация работы аэротенка для очистки сточных вод химико-фармацевтической промышленности. — Химико-фармацевтический журнал, 1976, № 9, с. 136—140.
5. Рыбаков С.А., Карюхина Т.А., Ермолаев А.В. Интенсификация биохимической очистки сточных вод химико-фармацевтических производств с помощью активированного угля. — Химико-фармацевтический журнал, 1979, № 2, с. 73—82.

7. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ АНТИБИОТИКОВ

В данной главе рассмотрены типичные для отрасли виды обработки сточных вод на действующих очистных сооружениях предприятий по производству антибиотиков¹. На каждом из предприятий по производству антибиотиков имеются сооружения по обработке сточных вод и отходов производства, в каждом случае определяемые местными условиями, расположением предприятия, наличием городских очистных сооружений и их мощностью, характером и профилем промышленных предприятий города, наличием и мощностью водоприемника очищенных сточных вод и т.д.

Ниже приведены примеры канализования и обработки сточных вод ряда предприятий по производству антибиотиков.

7.1. ПРЕДПРИЯТИЕ № 1

Номенклатура биосинтетических антибиотиков, выпускаемых на данном предприятии, включает следующие препараты: тетрацилин, бензилпенициллин, олеандомицин, леворин и др.

Наиболее крупнотоннажным, водо- и отходоёмким является производство тетрациклина. Схема его получения состоит из следующих стадий: приготовление питательных сред, получение посевного материала, ферментация, фильтрация кальциевого комплекса, фильтрация тетрациклина-основания, химическая очистка тетрациклина-основания, сушка продукта.

В процессе производства вода используется для приготовления растворов и промывки аппаратов. Наиболее загрязненные стоки образуются в результате фильтрации кальциевого комплекса и тетрациклина-основания. Наиболее загрязненная часть стока — нативный раствор, который составляет около 75% общего количества образующихся сточных вод. В составе загрязнений присутствуют минеральные и органические вещества, возможно присутствие следов антибиотика.

На площадке предприятия функционируют отдельные сети бытовой канализации, производственных сточных вод и условно-чистых стоков. По действующей схеме канализации система производственных сточных вод разделена на две сети: сеть наиболее загрязненных производственных сточных вод и сеть производственных сточных вод.

Указанное разделение производственных стоков принято в связи с тем, что данному предприятию в систему городской канализации разрешено сбрасывать сточные воды, БПК которых не превышает 500 мг/л. Наиболее загрязненные сточные воды выделяются, канализуются специальной сетью и отводятся на локальные очистные сооружения, где проходит их неполная биологическая очистка, после чего стоки смешиваются с прочими сточными водами предприятия и сбрасываются в городские сети. Общий состав всех производственных сточных вод предприятия приведен ниже:

Цветность, град	1330
Температура, °С	24
Запах	Специфический
pH	7,4
ХПК, мг/л	3 500
БПК ₅ , мг/л	1 640

¹ Производство антибиотиков. М., Медицина, 1970.

БПК _{полн} , мг/л	2 125
Взвешенные вещества, мг/л	115
Сухой остаток, мг/л	4 000
Прокаленный остаток, мг/л	2 250
Азот аммонийный, мг/л	180
Азот органический, мг/л	125
Фосфаты, мг/л	35
Хлориды, мг/л	740
Ацетон, мг/л	40
Бутилацетат, мг/л	190
Формалин, мг/л	4,5
Сульфаты, мг/л	275
Остаточная активность, М.Е.: тетрациклина	38
олеандомицина	71

Общее количество всех образующихся загрязненных производственных сточных вод составляет 4 600 м³/сут, в том числе наиболее загрязненных — 1 420 м³/сут.

На предприятии предусмотрена следующая схема локальной обработки наиболее загрязненных стоков (рис. 7.1): стоки собираются в приемный резервуар 1 насосной станции 2, направляются в усреднитель 3, проходят отстойник 4, резервуар осветленных стоков 5 и насосами, установленными на насосной станции осветленных стоков 6, перекачиваются в аэротенки 7, затем смесь попадает во вторичный отстойник 8, и далее обработанная вода смешивается со всеми прочими сточными водами предприятия и сбрасывается в городскую канализацию. Активный ил из вторичного отстойника через колодец 9 насосами станции активного ила 10 перекачивается в отдельно стоящий регенератор 11, откуда передается в аэротенк.

Аэротенк представляет собой двухкоридорный прямоугольный резервуар и объединяет смеситель и вытеснитель. Регенерированный ил поступает сосредоточенно в начало первого коридора, куда рассредоточенно через пять выпусков, регулируемых шиберами, поступают очищаемые сточные воды. Второй коридор работает как вытеснитель.

Общий объем аэротенка 565 м³, длина 28,8 м, ширина коридора 3,5 м, рабочая глубина 2,8 м. В первом коридоре по всей длине смонтировано три аэрационных канала, во втором коридоре — один канал. Регенератор представляет собой резервуар объемом 190 м³ при диаметре 9 м и рабочей глубине 3 м. Для аэрации иловой смеси в днище регенератора смонтировано одиннадцать аэрационных каналов.

Запуск и наладка сооружений проводились под руководством сотрудников кафедры канализации Пензенского инженерно-строительного института. За этот период было опробовано пять различных режимов работы сооружений с периодами аэрации 35,8; 30,2; 24; 20,8 и 17,9 ч. Результаты очистки приведены в табл. 7.1. По условиям эксплуатации количество воздуха, подаваемого на аэрацию в течение всего периода, оставалось постоянным. В аэротенк поступало 1 100 м³/ч воздуха, в регенератор — 1 630 м³/ч.

Согласно результатам проведенных работ, оптимальным может быть принят режим очистки с периодом пребывания стоков в аэрационной системе 24 ч. Данный режим позволяет проводить локальную неполную биологическую очистку сточных вод в количестве 755 м³/сут с исходными значениями ХПК = 4510 мг/л, БПК_{полн} = 2 825 мг/л и БПК₅ = 2 170 мг/л.

Технологические параметры работы аэрационных сооружений при очистке сточных вод приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.1

Расход очищаемых стоков, м ³ /ч	Период пребывания стоков в аэрационной системе, ч	ХПК, мг/л, воды		БПК _{полн} , мг/л, воды		Эффект очистки по БПК _{полн} , %	Концентрация активного ила, г/л		Зольность активного ила, %	
		поступающей	выходящей	поступающей	выходящей		в аэротенке	в регенераторе	в аэротенке	в регенераторе
21,1	35,8	4 633	772	2 805	162	93,9	4,0	9,2	17	21
25,0	30,2	4 200	729	2 760	186	93,2	4,0	9,2	15	19
31,4	24,0	4 510	696	2 825	265	90,5	4,0	9,2	13,5	15,5
36,4	20,8	4 400	896	2 710	428	84,0	4,1	9,2	12	13
42,3	17,9	4 350	1 215	2 725	695	74,5	4,1	9,3	11	12

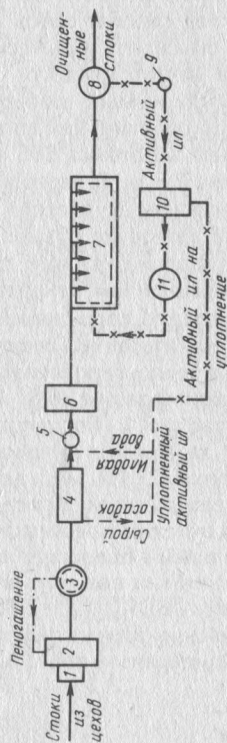


Рис. 7.1. Схема локальной биологической очистки водосточных стоков

Таблица 7.2

Показатели	Исходные сточные воды	Очищенные сточные воды
Расход сточных вод, м ³ /сут	755	755
БПК ₅ , мг/л	2 170	215
ХПК, мг/л	4 510	700
Взвешенные вещества, мг/л	107	13
Объем, м ³ :		
аэротенка	—	755
собственно аэротенка	—	565
регенератора	—	190
Концентрация ила, г/л:		
в аэротенке	—	4,0
в регенераторе	—	9,2
Иловый индекс, мл/г:		
в аэротенке	—	99
в регенераторе	—	132
Зольность ила, %:		
в аэротенке	—	13,4
в регенераторе	—	15,5
Расчетная продолжительность пребывания в аэротенке, ч	—	24
Объем циркулирующего ила, м ³ /ч	—	24,2
Продолжительность, ч:		
аэрации	—	10,1
регенерации	—	7,8
окисления	—	17,9
Нагрузка на аэротенк, г БПК _{полн} /(м ³ · сут)	—	2 170
Нагрузка на ил, мг БПК _{полн} /(гбв · сут)	—	446
Эффект очистки по БПК _{полн} , %	—	90,0
Окислительная мощность, мг БПК _{полн} /(гбв · сут)	—	401,0
Скорость окисления, мг БПК _{полн} /(гбв · ч)	—	16,7
Расход воздуха, м ³ /ч	—	2 400
Растворенный кислород, мг/л	—	1,0

7.2. ПРЕДПРИЯТИЕ № 2

Предприятие производит одновременно следующие биосинтетические антибиотики: окситетрациклин, феноксиметилпенициллин, эритромицин, канамицин и другие. Кроме того, на предприятии имеется производство по выпуску готовых лекарственных форм (ампулирование, таблетирование и т.д.).

Наиболее крупнотоннажным, водо- и отходоёмким является производство феноксиметилпенициллина. Схема его получения включает стадии приготовления питательных сред, получения посевного материала, ферментации, выделения и химической очистки.

В процессе производства вода используется для приготовления сред, водных растворов, промывки аппаратов, промывки угля. В образующихся сточных водах содержатся остатки нативного раствора, белковые тела, формалин, бутилацетат, бутанол, минеральные кислоты, щелочь, отработанный активированный уголь.

Схема канализации всего предприятия состоит из следующих сетей: бытовой канализации, производственной канализации и условно-чистых стоков. Состав производственных сточных вод предприятия за три года приведен в табл. 7.3.

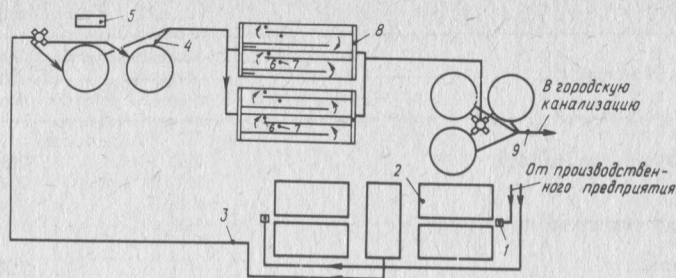


Рис. 7.2. Схема очистных сооружений. Точки отбора проб:

1 — до усреднителя; 2 — в самом усреднителе ближе к выходу; 3 — после усреднителя; 4 — в первичном отстойнике в водоотводном лотке; 5 — осадок из первичного отстойника, отбирается в начале третьего коридора; 6 — в аэротенке в начале третьего коридора; 7 — в регенераторе ближе к концу регенерационного процесса; 8 — после аэротенки в водоотводном канале; 9 — во вторичном отстойнике

Таблица 7.3

Показатели	1-й год	2-й год	3-й год	Средние значения
pH	7,3	6,9	7,1	7,1
Температура, °C	22	23	23	23
Запах	Органических веществ			
Разведение, при котором запах исчезает	1:28	1:32	1:25	1:28
Окраска	Желтая			
Разведение, при котором окраска исчезает	1:12	1:10	1:20	1:14
Цветность, град.	165	173	160	166
Взвешенные вещества, мг/л	1025	620	560	740
Сухой остаток, мг/л:				
при температуре 105°C	2 650	4 700	2 950	3 430
прокаленный	1 125	2 240	1 750	1 700
ХПК, мг/л	2 300	2 116	1 670	2 028
БПК ₅ , мг/л	790	830	680	770
БПК ₅ /ХПК	0,34	0,39	0,41	0,38
Цианиды общие, мг/л	0,18	0,13	0,06	0,12
Жиры, мг/л	52	116	72	80
Фенолы, мг/л	0,33	0,17	0,19	0,23
Изопропанол, мг/л	23	38	22	27
Бутанол, мг/л	90	26	47	54
Бутилацетат, мг/л	40	24	42	35
Формальдегид, мг/л	8,0	13,0	11,0	11,0
Метанол, мг/л	10,0	3,5	5,2	6,3
Четыреххлористый углерод, мг/л	0,41	0,8	0,12	0,44
Ацетон, мг/л	21,0	37,0	45,0	34,0
Пиридин, мг/л	6,3	4,1	2,0	4,1
Азот, мг/л:				
общий	89	67	56	71
аммиачный	34,0	32,0	31,0	32,0
Нитраты, мг/л	5,0	4,0	3,9	4,3
Нитриты, мг/л	0,37	0,17	0,61	0,38
Хлориды, мг/л	722	380	890	664
Сульфаты, мг/л	1118	650	720	830

Таблица 7.4

Показатели	Место отбора проб на сооружениях			
	до очистных сооружений (точка 1)	после усреднителя (точка 3)	после аэротенка в водоотводном канале (точка 8)	после вторичного отстойника в водоотводном канале (точка 9)
Температура, °С	24	—	—	19
Цветность, град.	210	210	155	155
Запах	Специфический	Специфический	—	Нет
pH	7,5	—	—	7,4
Количество очищаемых сточных вод, м ³ /сут	6 500	6 500	—	6 500
Взвешенные вещества, мг/л	195	—	—	89
ХПК, мг/л	2 930	2 610	620	480
БПК ₅ , мг/л	1 270	1 080	155	109
БПК _{полн} , мг/л	1 730	1 500	250	190
Растворенный кислород, мг/л	—	—	—	2,0
Хлориды, мг/л	990	—	—	990
Формальдегид, мг/л	11,0	—	—	0
Ацетон, мг/л	37,0	—	—	22,0

Таблица 7.5

Показатели	Исходные сточные воды	Очищенные сточные воды
Расход сточных вод, м ³ /сут	6 500	6 500
БПК ₅ , мг/л	1 270	109
ХПК, мг/л	2 930	480
Взвешенные вещества, мг/л	195	89
Объем, м ³ :		
общий аэротенков	—	15 120
собственно аэротенков	—	7 560
регенераторов	—	7 560
Расчетная продолжительность пребывания в аэротенках, ч	—	55,8
Объем циркулирующего ила, м ³ /ч	—	471
Продолжительность, ч:		
аэрации	—	10,2
регенерации	—	16,0
окисления	—	26,2
Нагрузка на аэротенк, г БПК ₅ / (м ³ · сут)	—	546
Средняя доза ила в системе, г/л	—	2,2
Зольность ила, %	—	17,0
Нагрузка на ил, мг БПК ₅ / (гбв · сут)	—	299,0
Эффект очистки по БПК ₅ , %	—	91,4
Окислительная мощность, мг БПК ₅ / (гбв · сут)	—	273,3
Скорость окисления, мг БПК ₅ / (гбв · ч)	—	11,4
Иловый индекс, мл/г	—	130
Растворенный кислород, мг/л	—	2,3
Расход воздуха:		
тыс. м ³ /ч	—	10 000
м ³ / (м ³ · ч)	—	37,0

В связи с высокой степенью загрязненности сточных вод в составе предприятия предусмотрены локальные сооружения неполной биологической очистки. Цель данных локальных сооружений — снижение загрязненности сточных вод предприятия до $BPK_{полн} = 250$ мг/л для последующего сброса стоков в городскую канализацию, в составе которой функционируют сооружения полной биологической очистки.

Схема локальных очистных сооружений предприятия предусматривает усреднение сточных вод в течение 20 ч, их первичное отстаивание, очистку в аэротенках, вторичное отстаивание. Схема очистки показана на рис. 7.2. Существующие аэротенки выполнены по типовому проекту. Они трехкоридорные и имеют габариты 42х6 (3) х5 м.

Средние показатели работы сооружений за один год по данным предприятия приведены в табл. 7.4, а технологические параметры работы аэротенков — в табл. 7.5.

8. ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД

8.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Многие из технологических процессов производства химико-фармацевтических препаратов проходят в теплообменных аппаратах, где в качестве термоагента используется вода различной температуры, в том числе захлажденная на холодильных станциях, холодильные агрегаты которых (теплообменники, компрессоры и др.), также в свою очередь требуют в качестве термоагента воду. Эту воду поставляют системы оборотного водоснабжения промышленных предприятий. В качестве водоохладителей в оборотных системах используют градирни различных конструкций, преимущественно вентиляторные. Мощность таких водооборотных систем составляет 10—15 тыс. м³/сут воды, а на отдельных предприятиях достигает 500 тыс. м³/сут.

С точки зрения рационального использования воды важно, чтобы для охлаждения процессов и аппаратов поступала вода только из водооборотных систем.

Экономичность схем водопользования промышленных предприятий отрасли может быть оценена следующими критериями:

$$K_{об} = Q_{об} \cdot 100 / (Q_{об} + Q_{св}); \quad n = Q_{об} / Q_{св},$$

где $K_{об}$ — коэффициент оборотного водоснабжения, %; $Q_{об}$ — общее количество воды, используемой на предприятии на технологические нужды, м³/сут; $Q_{св}$ — количество свежей воды из источника, м³/сут; $Q_{об}$ — количество воды, используемой в оборотных системах, м³/сут; n — кратность использования воды.

На предприятиях химико-фармацевтической промышленности при рациональной схеме водопользования коэффициент оборотного водоснабжения может составлять 75—85%, а кратность использования воды от 5 до 6,5. Эти показатели находятся в тех же пределах, что и показатели аналогичных систем других отраслей химической промышленности.

В водооборотном цикле при охлаждении воды на градирнях происходят потери воды за счет ее испарения и капельного уноса. Эти потери зависят от климатических условий района и конструкции водоохладителя. Для восполнения указанных потерь, а также для предотвращения накипобразования, биологических обрастаний и коррозии система подпитывается свежей водой, объем которой должен компенсировать потери воды на испарение

P_1 , потери воды с капельным уносом P_2 и потери воды при продувке системы P_3 . Объем продувочной воды восполняет непроизводительные потери систем (утечки в резервуарах, трубопроводе, у аппаратов и пр.). На предприятиях химико-фармацевтической промышленности потери составляют: $P_1 = 0,4-1,6$; $P_2 = 0,2-0,7$; $P_3 = 0,8-1,9$ (в % мощности водооборотной системы).

Степень упаривания воды в системе характеризуется коэффициентом упаривания

$$K_y = (P_1 + P_2 + P_3) / (P_2 + P_3).$$

На большинстве предприятий оборотные системы охлаждающего водоснабжения работают с коэффициентом упаривания 1,3—1,5 и сами являются источником образования так называемых продувочных сточных вод. Степень загрязненности продувочных вод может быть уменьшена за счет увеличения объема продувочной воды. Однако это вызывает увеличение расхода свежей воды, что приводит к снижению коэффициента оборотного водоснабжения.

Актуальной задачей в отрасли является разработка систем оборотного водоснабжения без сброса продувочных вод в водоем (беспродувочных систем). Для таких систем характерно существенное повышение степени концентрирования воды и соответственно концентрирования примесей, поступающих с подпиточной водой, а также генерируемых в процессе работы системы. В данных системах предотвращение накипеобразования, коррозии и биообрастаний обычно достигается путем обработки подпиточной воды и введения в систему различных ингибиторов. Для предотвращения карбонатных отложений применяют методы контролируемого накипеобразования — подкисление, фосфатирование и комбинированную кислотно-фосфатную обработку.

В целях борьбы с коррозией в воду вводят ингибиторы — технический гексаметафосфат, триполифосфат, силикат натрия. Борьба с биообрастаниями осуществляется с помощью введения в систему различных биоцидов — хлорсодержащих соединений, аминокислот, солей меди и др.

Описанный способ обработки применяется в оборотных системах водоснабжения на предприятиях химико-фармацевтической промышленности и полностью себя оправдывает. При этом для подпитки систем оборотного водоснабжения используется вода из источников (свежая). В ряде случаев, когда отсутствуют источники технической воды, в систему водоснабжения в качестве подпитки подают воду питьевого качества.

Объем подпиточной воды составляет 1,5—3,5% мощности оборотной системы (250—1 500 м³/сут), а по отдельным предприятиям достигает 10 000 м³/сут и более. На некоторых предприятиях при наличии развитых систем водопользования объем подпиточной воды может составлять до 50% объема всей свежей воды, потребляемой на предприятии.

Сокращение расходов свежей воды, необходимой для работы оборотной системы водоснабжения, может быть достигнуто благодаря снижению потерь воды путем изменения конструкции водоохладителя, что приведет к снижению коэффициента упаривания. Это будет способствовать некоторому увеличению коэффициента оборотного водоснабжения предприятия в целом. Однако наиболее оптимальным решением данного вопроса является вообще отказ от использования свежей воды для подпитки оборотных систем и замена ее на очищенную сточную воду предприятия после соответствующей дополнительной обработки.

Повторное использование очищенных сточных вод позволяет сократить потребление свежей воды и одновременно предотвратить загрязнение водоемов. Кроме того, повторное использование очищенных сточных вод позволяет более экономично решать схему их очистки, так как в этом случае требования к степени очистки в основном диктуются условиями предотвращения накопобразования, коррозии и биообрастания и не регламентируются по ряду санитарно-химических показателей, установленных санитарными нормами при сбросе очищенных сточных вод в водоем, имеющий санитарно-гигиеническое и рыбохозяйственное значение. Ряд общих требований к качеству воды оборотных систем охлаждающего водоснабжения приведен в табл. 8.1 [1, 2].

Таблица 8.1

Показатели качества воды	Нормативные значения			
	СЭВ	СССР (ВНИИ ВОДГЕО)	США	ФРГ
pH	6,5—8,5	7,2—8,5	6—9	—
Взвешенные вещества, мг/л	50	25	10	—
Нефтепродукты, мг/л	20	20	—	0
Жесткость общая, мг-экв/л	50	50	2,6	—
Жесткость карбонатная, мг-экв/л	3,5	5	—	4
Общее содержание, мг/л	2 000	3 000	1 000	300
Хлориды, мг/л	350	400	500	600
Сульфаты, мг/л	500	500	200	400
ХПК, мг/л	200	—	—	—
БПК _{полн.} , мг/л	20	25	—	—

Изучение специфических особенностей сточных вод одного из химико-фармацевтических предприятий показало принципиальную возможность их повторного использования после очистки в качестве подпитки охлаждающей системы оборотного водоснабжения данного предприятия.

8.2. ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ХИМИКО-ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Предприятие производит различные синтетические витамины и полупродукты. В процессе производства образуются сточные воды, которые в смеси с бытовыми водами жилого поселка проходят биологическую очистку. Состав сточных вод до очистки и после нее приведен в табл. 8.2.

На предприятии имеется охлаждающая система оборотного водоснабжения, подпитка которой осуществляется свежей водой. С целью сокращения общего расхода свежей воды и увеличения коэффициента оборотного водоснабжения на предприятии были проведены исследования, позволившие определить технологические условия для повторного использования очищенных сточных вод в охлаждающей оборотной системе [3].

Из табл. 8.2 видно, что по ряду показателей очищенные сточные воды не соответствуют нормативным значениям, приведенным в табл. 8.1.

Сточные воды предприятия после биологической очистки непрозрачны и имеют значительное содержание взвешенных веществ. Эти вещества могут способствовать биологическому и механическому обрастанию трубопроводов и рубашек теплообменных аппаратов. Концентрация взвешенных веществ значительно превышает допустимую.

Таблица 8.2

Показатели качества воды	Значение	
	до очистки	после очистки
pH	7,0	7,5
Взвешенные вещества, мг/л	230	80
Жесткость общая, мг-экв/л	19,6	18,3
Жесткость карбонатная, мг-экв/л	7,3	7,1
Сухой остаток, мг/л	4 510	3 970
Кальций, мг/л	259	264
Магний, мг/л	82	61
Сульфаты, мг/л	812	680
Хлориды, мг/л	1 170	1 080
Нитраты, мг/л	1,2	0,3
Нитриты, мг/л	16,2	8,5
Азот аммонийный, мг/л	27,3	30,6
Окисляемость перманганатная, мг/л	75	25
ХПК, мг/л	2 340	490
БПК ₂₀ , мг/л	1 670	57
БПК ₅ , мг/л	1 327	34

Очищенная сточная вода, имеющая повышенную жесткость, способна выделять на теплообменных поверхностях солевые отложения или накипи. Главными составными частями этих отложений являются карбонат кальция CaCO_3 , в меньшей мере — карбонат магния MgCO_3 , в небольшом количестве гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ как продукт коррозии, сульфат кальция CaSO_4 . Основной составной частью содержащихся в стоках неорганических примесей являются соли кальция, которые главным образом и определяют карбонатную и общую жесткость воды. Общая жесткость очищенных сточных вод не превышает допустимую, однако общее солесодержание значительно выше.

Сравнивая содержание хлоридов и сульфатов в очищенной воде с нормируемыми значениями, можно заключить, что по отношению к материалам трубопроводов и теплообменных аппаратов (Ст3 и Ст10) такая вода является среднеагрессивной и способна вызвать коррозию.

Содержание органических примесей в воде значительно превышает норму, поэтому можно предполагать, что биологически очищенные сточные воды предприятия при использовании их в качестве подпитки системы оборотного водоснабжения способны вызывать биологические обрастания.

Активная реакция среды pH имеет определенное значение при оценке термостабильности или коррозионной устойчивости воды. Значение pH очищенных сточных вод колеблется от 7 до 7,5, т.е. практически вода является нейтральной.

Таким образом, из всех показателей качества воды наибольшую опасность при использовании рассмотренных очищенных сточных вод в системе оборотного водоснабжения представляют высокие значения жесткости и солесодержания, а также наличие значительного количества органических примесей. Следовательно, при подготовке очищенных сточных вод приведенного состава основное внимание должно быть уделено предотвращению накипеобразования, биологических обрастаний и коррозии. Это может быть достигнуто доочисткой биологически очищенных сточных вод, заключающейся в извлечении из них взвешенных веществ и неокислившихся и трудноокисляемых органических веществ, удалением из воды солей кальция и магния (т.е. умягчением воды) и стабилизационной обработкой.

Проведенные на предприятии исследования позволили остановиться на сорбционном методе доочистки биологически очищенных сточных вод как наиболее эффективном.

Как уже указывалось, сточные воды предприятия характеризуются высоким содержанием органических и неорганических примесей. Полностью идентифицировать все примеси практически невозможно, да в этом и нет необходимости при сорбционных методах очистки. Однако важно знать основные группы примесей и емкость сорбентов по отношению к ним для выбора сорбента. Из неорганических примесей около 90% приходится на долю сульфатов, хлоридов, ионов кальция и магния.

Органические примеси могут быть разделены на высокомолекулярные, хорошо сорбируемые, и низкомолекулярные, которые сорбируются хуже. К последним относятся алифатические спирты (метилловый, этиловый, пропиловый), низшие карбоновые кислоты, формальдегид, ацетон, уксусная кислота и др. Содержание спиртов в сточных водах предприятия после их биологической очистки значительно. Так, методом газожидкостной хроматографии определено содержание этилового спирта, которое составило около 60 мг/л в исследованной пробе, при общей сумме органических веществ, измеряемых значением ХПК = 450 мг/л. Однако проведенные коррозионные испытания позволили сделать вывод, что спирты не являются коррозионноопасными и, следовательно, нет необходимости их специально удалять. Испытания по сорбционной доочистке сточных вод показали, что наиболее эффективным сорбентом является уголь марки АГ-5. Результаты доочистки сточных вод в статических условиях на сорбентах различных типов приведены в табл. 8.3, а данные по доочистке сточных вод от взвешенных веществ на различной фильтрующей загрузке — в табл. 8.4.

Таблица 8.3

Тип сорбента (активированные угли)	Содержание органических примесей в стоках (по перманганатной окисляемости), мг/л		Процент доочистки
	исходная вода	доочищенная вода	
СКТ	80,4	42,2	47,5
ОУ	80,4	61,8	23,0
АГ-5	80,4	39,9	50,3

Таблица 8.4

Сточная вода	Содержание взвешенных веществ, мг/л, после фильтра			
	гравийно-песчаного		шлакового	
	плотный остаток	остаток после прокаливании	плотный остаток	остаток после прокаливании
До фильтра	56	9,5	56	9,5
После фильтра	8,6	5,5	9,3	5,6

Полученные результаты позволяют утверждать, что эффект очистки при применении данных загрузочных материалов практически одинаков и обеспечивает содержание взвешенных веществ в доочищенных сточных водах в пределах нормы для их повторного использования.

Были исследованы также коррозионные свойства материалов. В основном на степень коррозии влияют рН среды, уголекислота, хлориды, сульфаты и

жесткость воды. Оценка результатов исследований позволила сделать следующие выводы:

реакция среды нейтральная и не влияет на коррозию;

при содержании CO_2 своб в воде до 30 мг/л усиления коррозии стали не наблюдается. При более высоком содержании диоксида углерода коррозия стали резко возрастает. В сточных водах предприятия не обнаружено наличия свободного диоксида углерода, поэтому с данной точки зрения вода не представляет опасности в коррозионном отношении;

хлориды значительно ускоряют коррозию за счет увеличения кислотности воды и разрушения защитной пленки. Если первый из указанных факторов не имеет существенного значения, поскольку $\text{pH} = 7,5$, то влияние второго фактора более ощутимо, так как содержание хлоридов в сточных водах достигает 1080 мг/л;

при содержании сульфатов до 300 мг/л вода считается слабоагрессивной, от 300 до 600 мг/л — среднеагрессивной, более 600 мг/л — сильноагрессивной. При карбонатной жесткости более 2 мг-экв/л влияние сульфатов на степень коррозии незначительно. Содержание сульфатов в сточных водах предприятия достигает примерно 700 мг/л, что свидетельствует об агрессивности воды;

что касается влияния жесткости воды, то можно считать, что с увеличением карбонатной жесткости степень агрессивности воздействия ионов будет снижаться. В нашем случае карбонатная жесткость составляет 7 мг-экв/л, что значительно снижает агрессивное действие солей.

В целом агрессивность воды будет значительно возрастать при увеличении концентрации растворенных солей свыше 500 мг/л, в том числе суммарной концентрации хлоридов и сульфатов свыше 150 мг/л. Поскольку в рассматриваемых сточных водах содержание одних только хлоридов достигает более 1 000 мг/л, эти воды должны оказывать коррозионное действие на конструкционные материалы (главным образом углеродистые стали), в основном из-за повышенного содержания хлоридов.

В проведенных исследованиях коррозионная устойчивость сталей определялась в статических условиях при комнатной температуре гравиметрическим методом. Образцы из Ст10 и нержавеющей стали 1Х18Н101 размером 30хх70 мм погружались в испытуемый раствор, значения pH которого изменялись в пределах 6—7. Уже первые опыты показали, что Ст10 подвергается коррозии примерно в 30 раз сильнее, чем легированная сталь. Поэтому дальнейшие работы проводились только со Ст10. Результаты коррозионных испытаний Ст10 приведены в табл. 8.5, а результаты коррозионных испытаний при введении в воду ингибитора (1%-ного раствора нитрита натрия) за период испытаний 60 сут — в табл. 8.6.

Во всех испытуемых растворах на образцах из Ст10 продукты коррозии в виде ржавчины появились через 4—5 сут после погружения, в то время как на образцах, помещенных в ингибированные растворы, следов коррозии не наблюдалось даже через 2 мес.

Результаты, приведенные в табл. 8.6, показывают, что введение ингибитора обеспечивает антикоррозионные свойства среды. Необходимо иметь в виду, что из наиболее распространенных ингибиторов — нитрита натрия и силиката натрия — для рассмотренных вод можно использовать только нитрит натрия, так как в них содержится значительное количество ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} и при добавлении силиката натрия к сточным водам данного предприятия может образоваться осадок из силикатов кальция и магния.

Были проведены также испытания в динамических условиях при минимальной скорости протока 0,01 м/с (табл. 8.7). Исследуемая вода после био-

Таблица 8.5

Вода	Потери в массе, %, через	
	60 сут	120 сут
Водопроводная	1,34	5,83
Дистиллированная	0,88	4,77
Сточная до биологической очистки	0,79	5,97
После биологической очистки	1,41	3,55
Биологически очищенная после доочистки на сорбенте (уголь АГ-5)	1,27	4,16

Таблица 8.6

Вода	Масса образцов		Потери в массе образцов через 60 сут испытаний	
	до коррозии	после коррозии		
			г	%
Водопроводная	16,8753	16,8741	0,0012	0,007
Дистиллированная	16,9881	16,9664	0,0017	0,010
Сточная до биологической очистки	16,8568	16,8558	0,0010	0,006
Биологически очищенная	16,7107	16,7091	0,016	0,009

Таблица 8.7

Сталь	Длительность испытаний, сут	Масса образца, г		Потери в массе образца		Средняя потеря массы, %
		до коррозии	после коррозии	г	%	
Ст 10	85	27,2438	27,1888	0,0550	0,202	0,22
		27,1864	27,1206	0,0658	0,242	
Нержавеющая	110	27,1265	27,0458	0,0807	0,290	0,27
		27,1376	27,0683	0,0693	0,250	

П р и м е ч а н и е. Над чертой и под чертой даны средние значения для двух серий испытываемых образцов.

логической очистки прошла сорбционную доочистку на фильтре с углем АГ-5 и нагревалась в термостате до 80°C.

Динамические испытания подтвердили довольно высокую коррозионную устойчивость конструкционных материалов по отношению к доочищенным сточным водам рассмотренного химико-фармацевтического предприятия.

8.2.1. Определение накипеобразования и биообрастаний в опытных условиях при использовании доочищенных сточных вод в системе оборотного водоснабжения. Перед строительством на предприятии опытно-производственной установки была смонтирована пилотная установка непрерывного действия производительностью до 52 л/ч, моделирующая производственные условия работы системы доочистки биологически очищенных сточных вод и оборотного водоснабжения с подпиткой доочищенными водами. Схема установки показана на рис. 8.1.

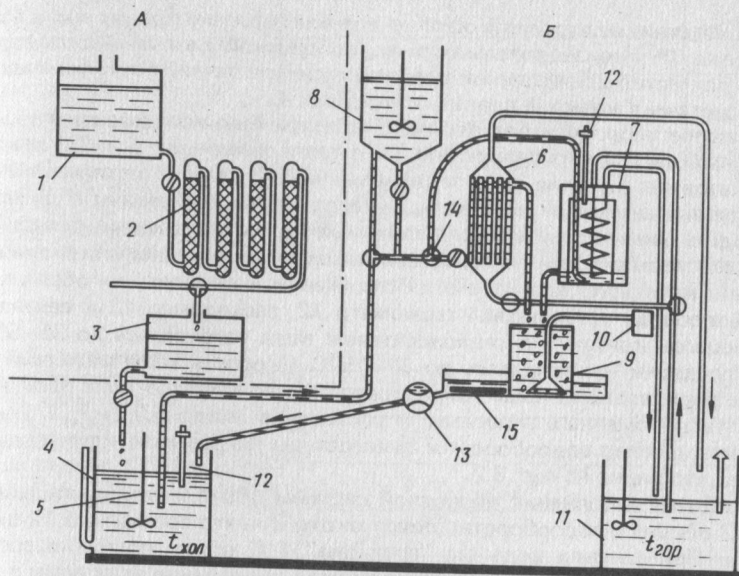


Рис. 8.1. Схема установки повторного использования доочищенных сточных вод

Установка состоит из двух контуров: контур доочистки воды А и контур исследования ее термостабильности и способности к солевым отложениям В. Контур А содержит приемный бачок 1 емкостью 50 л, куда подаются биологически очищенные сточные воды. Из приемного бачка вода поступает в систему доочистки 2, включающую в себя четыре последовательно соединенных стеклянных цилиндра высотой 600 мм и внутренним диаметром 35 мм. В первую колонку засыпают песок с гравием, во вторую — измельченный мартеновский шлак, в третью и четвертую — активированный уголь марки АГ-5. Песок, гравий и шлак имеют различную зернистость и загружены в колонки пофракционно — от крупной фракции к более мелкой.

Скорость фильтрации воды через колонки с активированным углем составляла 0,25–0,5 м/ч, что обеспечивало длительный контакт воды с углем и создавало условия для сорбции, близкие к равновесным. За длительный период работы установки степень сорбционной доочистки сточных вод по ХПК мало зависела от скорости потока и не превысила 50%, что объясняется наличием в воде примесей, не сорбируемых углями. После доочистки вода сливается в бачок 3, из которого через кран-дозатор добавляется в качестве подпитки в бачок 4 системы оборотного водоснабжения (контур В). Из бачка 4 охлажденная обратная вода насосом 5 подается в теплообменные аппараты 6 и 7 или же в бачок для перемешивания 8, в который могут добавляться при необходимости различные добавки (ингибиторы, биоциды и др.). Из бачка 8 вода также может поступать в теплообменные аппараты 6 и 7. Градирия имитируется испарителем 9, в который поступает от вентилятора 10 воздух, нагретый до 70°C, продувающий воду в испарителе, чем создаются условия испарения и каплеуноса, а также холодильником 15, с помощью которого вода охлаждается до заданной температуры и сливается в бак 4. Контроль температуры исследуемой воды осуществлялся с помощью контактных термометров. Температура охлажденной воды составляла 15°C, нагретой —

40°C. Вследствие испарения и каплеуноса в испарителе потери воды составляли около 1% производительности водооборотной системы. Соответственно это количество доочищенной воды поступало в течение суток в водооборотную систему в качестве подпитки через бак 4.

В качестве теплоносителя горячего контура был использован глицерин, подаваемый насосом из термостата 11 в теплообменники 6 и 7. Установка предусматривает наличие двух теплообменников, один из которых изготовлен из титана, другой — из стекла. Титановый теплообменник 6 позволяет производить химический анализ отложений на его внутренней поверхности вследствие устойчивости титана к различным растворителям, а стеклянный — визуально наблюдать характер этих отложений и скорость их образования. На трубопроводе установлены термометр 12, расходомер 13 и вентиль 14.

В процессе контакта с теплоносителем вода нагревалась до 35–50°C и после "градирни" охлаждалась до 10–15°C. Скорость воды в системе была принята значительно меньше той, которая обычно наблюдается в производственных теплообменных аппаратах, и составляла около 0,01 м/с. С увеличением числа циклов водооборота и температуры нагрева жесткость воды увеличилась, что видно из рис. 8.2.

При объеме заполнения оборотной системы 100 л и расходе подаваемой воды 52 л/ч цикл водооборота длился около 2 ч, что составляло 12 циклов в сутки. При потерях воды на "градирне" 1% объем подпитки составил $52 \cdot 24 \cdot 1/100 = 12,5$ л/сут, что обеспечивало обновление всей воды в системе в течение $100:12,5 = 8$ сут, т.е. через каждые 96 циклов. За данный период при перепаде температуры охлаждающей воды $\Delta t = 25^\circ\text{C}$ жесткость воды в системе увеличивалась с 25 до 30 мг-экв/л (кривая 1 на рис. 8.2). При том же числе циклов, но меньшем расходе воды (25 л/ч) и, соответственно, меньших скоростях протока в теплообменных аппаратах перепад температуры охлаждающей воды составил $\Delta t = 35^\circ\text{C}$ и жесткость увеличилась до 40 мг-экв/л (кривая 2 на рис. 8.2). Соответственно возрастало содержание воды, что показано на рис. 8.3. За 100 циклов водооборота, т.е. в течение периода однократного обновления воды в системе, общее содержание возросло с 3970 до 4700 мг/л.

В связи с увеличением общего содержания воды начали обрастать внутренняя поверхность трубок титанового теплообменника 6 и спираль стеклянного теплообменника 7 (см. рис. 8.1), в результате чего их теплоотдача уменьшилась, соответственно снизился температурный перепад между нагретой и охлажденной водой, т.е. начала уменьшаться эффективность водооборотной системы.

На рис. 8.4 показана зависимость разности температур $t_{\text{гор}} - t_{\text{хол}}$ от числа циклов водооборота, из которой следует, что для сточных вод приведенного состава химико-фармацевтического предприятия при принятой доочистке сточных вод, подпитке водооборотной системы, равной 1%, и скоростях протока охлаждающей среды в теплообменниках 0,01 м/с теплоотдача начинает падать примерно после 230 циклов водооборота, т.е. на 20-е сутки работы системы.

Полученные на пилотной установке результаты позволяют сделать вывод о том, что рассматриваемая вода не является термостабильной. Для снижения накипеобразования целесообразно обеспечить продувку системы за счет увеличения расхода воды на подпитку или предусмотреть ее стабилизационную обработку. Очевидно, экономичное решение предусматривает сочетание этих способов.

Для выявления характера биообрастаний охлаждаемой поверхности теплообменных аппаратов был проведен их микробиологический анализ. Аэроб-

Рис. 8.2. Зависимость общей жесткости J_0 от степени нагрева оборотной воды с последующим охлаждением до 10–15°C

1 — при нагреве до 35–40°C (расход подаваемой воды 52 л/ч); 2 — при нагреве до 45–50°C (расход подаваемой воды до 20–25 л/ч)

J_0 , мг-экв/л

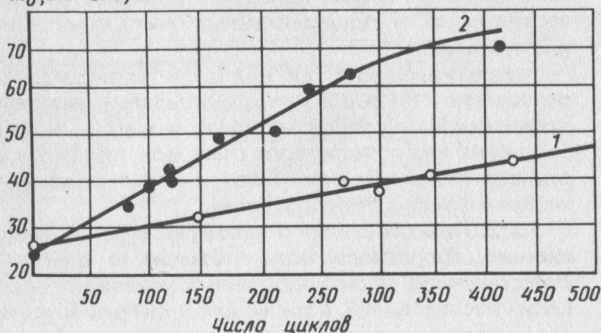


Рис. 8.3. Зависимость общего соле содержания от числа циклов (расход подаваемой воды 52 л/ч, температура нагрева 40°C)

g , мг/л

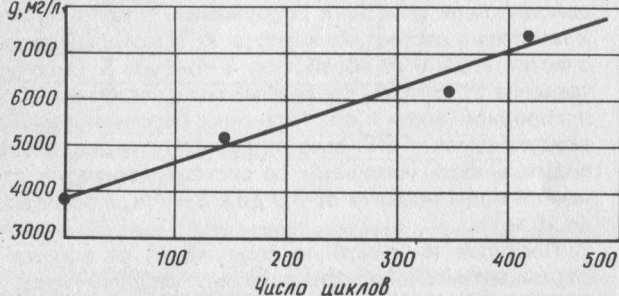
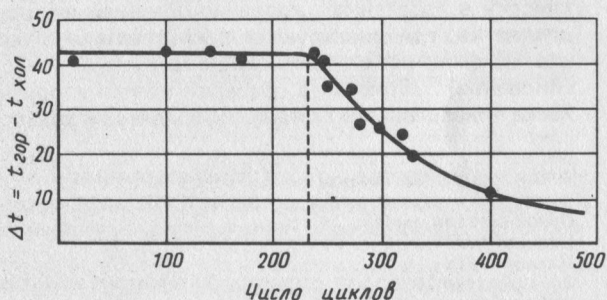


Рис. 8.4. Зависимость разности температур между горячим и холодным теплоносителями от числа циклов (расход подаваемой воды 35 л/ч, температура теплоносителя 100°C)

$\Delta t = t_{гор} - t_{хол}$



ные микроорганизмы определяли методом посева суспензии осадка на твердые питательные среды с выдержкой в термостатах. Бактерии, использующие минеральные формы азота, выявляли на крахмало-аммиачном агаре (КАА). Наличие бактерий, использующих азот из органических соединений, определяли на мясо-пептонном агаре (МПА), а присутствие в осадке микроскопических грибов — на сусло-агаре. Обнаружение анаэробных микроорганизмов производили методом посева на питательной среде.

Посев суспензий осадка показал, что обрастание имеет биологическое происхождение. Как на КАА, так и на МПА выросло много колоний различных микроорганизмов с большим разнообразием форм, в том числе спорообразующие и не образующие спор. Микрофлора осадка содержит большое количество анаэробных бактерий, что следовало бы из бурного брожения питательной среды. На сусло-агаре наблюдался интенсивный рост микроскопических грибов одного вида. В результате непосредственного микроскопичес-

кого изучения осадка обнаружено большое разнообразие форм микроскопических существ, представленных бактериями, микроскопическими грибами, инфузориями.

Результаты работ на пилотной установке показали, что биологически очищенные сточные воды химико-фармацевтического предприятия после их доочистки на песчано-гравийных и угольных фильтрах по техническим требованиям могут использоваться для подпитки систем охлаждающего оборотного водоснабжения. Вода не является коррозионной, однако дает накипеобразование и биообрастания.

8.2.2. Приготовление и использование доочищенной воды в охлаждающей системе оборотного водоснабжения в опытно-промышленных условиях. Для решения в производственных условиях вопросов, возникших при проведении исследований, а также для проверки и уточнения полученных результатов для данного химико-фармацевтического предприятия был разработан проект опытно-промышленной установки с размещением ее на площадке действующих очистных сооружений. Опытно-промышленная установка, как и пилотная, состоит из контура А, в который входят все сооружения по доочистке воды и ее обработке, и контура Б (водооборотной системы), включающего градирню, теплообменные аппараты, насосы, резервуары горячей и холодной воды и пр. Установка рассчитана на водяное охлаждение турбовоздуходувки ТМГ воздуходувной станции очистных сооружений. Производительность установки по системе доочистки стоков и обработки подпиточной воды принята от 0,3 до 0,8 м³/ч, а по водооборотной системе — от 2 до 16 м³/ч.

Поступая на очистные сооружения от жилого микрорайона и химико-фармацевтического предприятия, сточные воды общим объемом около 12 000 м³/сут в соотношении 1:2 проходят двухступенчатую биологическую очистку в аэротенках, первично обезвреживаются, затем поступают на блок доочистки, где фильтруются последовательно через барабанные сетки и зернистые фильтры с двухслойной загрузкой (песок и антрацит на гравийном основании). Затем вода обезвреживается вторично и сбрасывается в водоем. Ниже приведены показатели сбрасываемой воды:

рН	7,5—8,2
Жесткость общая, мг-экв/л	18—20
Жесткость карбонатная, мг-экв/л	6,5—7,5
Сухой остаток, мг/л	3 500—4 300
Кальций, мг/л	250—350
Магний, мг/л	60—80
Сульфаты, мг/л	600—800
Хлориды, мг/л	700—1 100
Железо, мг/л	0,25—0,4
Нитраты, мг/л	0,3—0,5
Нитриты, мг/л	6,0—8,0
Окисляемость перманганатная, мг/л	20—30
ХПК, мг/л	250—350
БПК ₅ , мг/л	10—13
Взвешенные вещества, мг/л	10—15

На опытно-промышленную установку (контур А) поступает вода, прошедшая фильтрацию и вторично обезвреженная. Насосом вода подается в адсорберы, загруженные активированным углем марки БАУ или АР-З. После сорбции предусмотрена возможность подачи в воду растворов соды и гексаметафосфата, а также возможность подкисления воды.

Установка включает складские помещения для угля и реагентов и расположена в здании блока доочистки на площади 108 м² (12х9 м). План установки (контур А) показан на рис. 8.5 Схемой трубопроводов предусмотрена

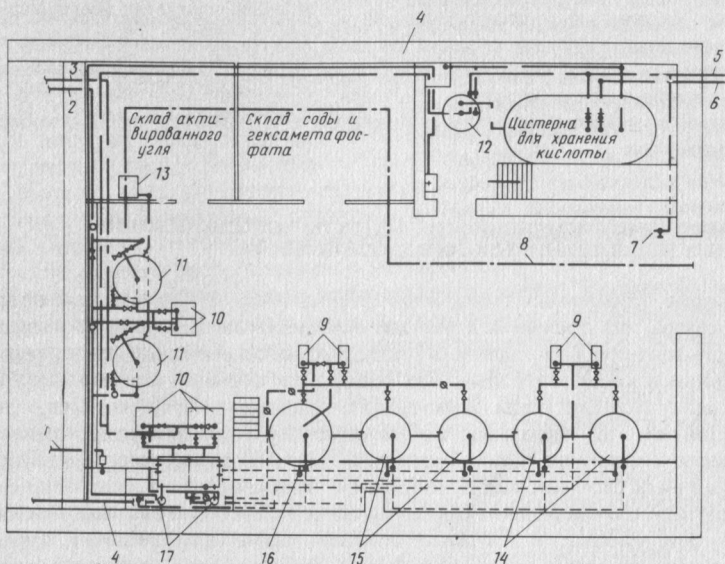


Рис. 8.5. План расположения оборудования опытно-промышленной установки доочистки (регенерации) воды

1 — в прямок в помещении барабанных сеток; 2 — напорный трубопровод хлорированных сточных вод, направляемых на обработку; 3 — регенерированные сточные воды на подпитку оборотной системы насосно-воздуходувной станции; 4 — прямок; 5 — от воздуходувки; 6 — от автоцистерны; 7 — к компрессору; 8 — таль шестеренчатая ручная; 9 — насосы-дозаторы; 10 — насосы 1,5 КМ; 11 — адсорберы; 12 — мерник; 13 — загрузочный бункер транспортировки угля; 14 — растворные баки соды; 15 — растворные баки гексаметафосфата; 16 — расходные баки гексаметафосфата; 17 — гидроклоны

возможность параллельной и последовательной работы адсорберов, а также пропуска воды, минуя адсорберы. В процессе эксплуатации установки отрабатываются необходимые режимы сорбционной обработки воды, потребность в реагентах и др.

Обработанная вода (подпитка системы оборотного водоснабжения) перекачивается в резервуар охлажденной воды, установленный в здании воздухоподводящей станции. Из резервуара насосами вода подается в турбовоздуходувку на охлаждение, затем под остаточным напором поступает на градирню, которая установлена на кровле здания воздухоподводящей. Градирня принята вентиляторная, крышной конструкции, тип ГВП-80, площадь оросителя 4 м². Охлажденная вода из поддона градирни сливается в резервуар охлажденной воды, откуда забирается насосами на охлаждение турбовоздуходувки. Описанная схема водооборота составляет контур Б.

В процессе работы опытно-промышленной установки выполняют санитарно-гигиенические анализы, по результатам которых определяют необходимые условия эксплуатации системы: допустимую концентрацию гидроаэрозолей в атмосферном воздухе, требования к конструкции градирни, исключение вредного влияния воды на здоровье обслуживающего персонала, исключение опасности неблагоприятного действия химических веществ, следы которых могут содержаться в доочищенной и обеззараженной воде, и т.п.

Если указанные технологические и санитарно-гигиенические проблемы будут решены, то будет создана система повторного использования очищенных сточных вод в масштабе всего предприятия, на котором имеется мощная охлаждающая оборотная система, способная использовать в качестве подпитки значительную часть очищенных сточных вод жилого микрорайона и предприятия.

8.3. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД В ТЕХНИЧЕСКОМ ВОДОСНАБЖЕНИИ

Условия применения очищенных сточных вод в техническом водоснабжении указаны во временных методических рекомендациях Минздрава СССР к использованию доочищенных городских сточных вод в техническом водоснабжении и касаются только тех городских сточных вод, в состав которых не входят сточные воды химических предприятий. К их числу относятся предприятия по производству химико-фармацевтических препаратов, в том числе витаминов и антибиотиков. Поэтому возможность использования доочищенных сточных вод в оборотном водоснабжении в отрасли в каждом конкретном случае должна обосновываться санитарно-гигиеническими исследованиями. Работы, в которых описаны такие исследования, проведенные для других отраслей промышленности, представляют значительный интерес с точки зрения возможного подхода к решению вопроса. Для систем оборотного водоснабжения, которые подпитываются очищенными сточными водами (причем для этих систем невозможно идентифицировать состав остаточных загрязнений и рассчитать концентрацию отдельных компонентов в капельном выносе градирен), следует производить комплексную оценку токсичности гидроаэрозоля, выбрасываемого из градирен [4].

При этом определяющим показателем является абсолютный выброс токсичных веществ, который зависит от трех факторов:

количества и характера органических соединений, присутствующих в оборотной воде, что в свою очередь зависит от характеристики подпиточной воды и коэффициента упаривания;

вида и концентрации ингибитора, вводимого в оборотную воду;

капельного выноса влаги из градирен.

Гидроаэрозоль, выносимый из градирен, может распространяться в атмосферном воздухе на значительные расстояния, загрязняя приземные слои атмосферы не только промышленной площадки, но и жилой зоны населенных пунктов. Снижение или предотвращение такого загрязнения связано с уменьшением выноса влаги на градириях и повышением качества очищаемых сточных вод. Критерием оценки загрязнения может являться токсичность аэрозоля, измеряемая ориентировочным безопасным уровнем воздействия (ОБУВ). Такая оценка была сделана для предприятия химического профиля, на котором производится ацетальдегид, винипол, дивинил и др. [5].

Сточные воды данных производств в качестве основных загрязняющих компонентов содержали ацетальдегид, ацетон, бутанол, органические кислоты и их соли и т.д. Очистка смеси указанных стоков проводилась на опытно-промышленной установке, включающей биологическую очистку, доочистку, состоящую из двух ступеней (I ступень — коагуляция, флотация, фильтрация; II ступень — неполная окислительная деструкция, биологические пруды, фильтрация) и обеззараживание. С целью предупреждения коррозии и солеотложений в теплообменной аппаратуре в оборотную воду вносили компоненты ингибирующей композиции: лигносульфонат, винную кислоту, фос-

форнокислый аммоний и сульфат цинка. Кроме того, оборотная вода подвергалась периодическому хлорированию для подавления биообрастаний.

Оценка токсичности гидроаэрозоля, выносимого из градирни, проводилась по методике, разработанной Институтом общей и коммунальной гигиены им. А.Н.Сысина. Безопасный уровень воздействия был установлен на уровне 0,01 мл/м³. Исходя из указанного значения можно провести все необходимые расчеты, определяющие допустимый вынос гидроаэрозоля из градирен, т.е. потерю воды от капельного уноса и радиус санитарно-защитной зоны для градирен. Полученные расчетные значения позволяют принимать необходимые решения относительно конструкции градирен, их оптимальной высоты и числа, а также расположения на площадке.

На основании проведенных исследований разработаны "Временные методические рекомендации к использованию очищенных городских сточных вод и смеси их с очищенными сточными водами предприятий синтетического каучука в оборотных системах охлаждающего водоснабжения" (1981).

Аналогичные рекомендации разработаны для нефтехимических производств; в них приведена экспериментальная оценка токсичности гидроаэрозоля очищенных сточных вод [6].

Изложенное показывает возможность разработки необходимых рекомендаций также применительно к химико-фармацевтическим производствам, что позволит значительно снизить сброс загрязнений в водоем и сократить потребность свежей воды для отрасли, заменив ее доочищенными сточными водами.

Список литературы

1. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности.-М.: Стройиздат, 1978.
2. Волков Л.Н., Максимов К.П., Гладков В.А. Некоторые вопросы водоподготовки для систем оборотного водоснабжения. — В сб.: Научные исследования в области водоснабжения. Очистка природных вод и обеспечение требуемого качества воды оборотных систем. Труды ВНИИ ВОДГЕО, М., 1977, вып. 67, с. 51—57.
3. Краснощекоев В.В., Каушанский В.Е. и др. Возможности использования промышленных сточных вод в системе оборотного водоснабжения. — Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной Академии, М., 1976, вып. 218, с. 201—207.
4. Опыт применения замкнутых систем водоснабжения в промышленности. — Водоснабжение и санитарная техника, 1980, № 3, с. 2—4.
5. Пинигин М.А., Цигановская Л.Х. и др. Оценка токсичности выносимого из градирен гидроаэрозоля оборотной воды, сформированной на основе смеси очищенных бытовых и химически загрязненных сточных вод. — Материалы семинара: Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий и районов.-М.: Знание, 1982, с. 18—23.
6. Пинигин М.А., Цигановская Л.Х. и др. Экспериментальная оценка токсичности гидроаэрозоля очищенных сточных вод нефтехимического производства. — В сб.: Гигиенические аспекты охраны окружающей среды. Труды ИОКГ им. А.Н.Сысина, М., 1979, вып. 7, с. 56—58.

9. ОБРАБОТКА ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД

На территории СССР действует несколько десятков заводов по производству химико-фармацевтических препаратов. Несмотря на то, что количество сточных вод, образующихся в технологическом цикле, невелико, степень их загрязненности весьма значительна. В настоящее время на всех предприятиях построены и действуют очистные сооружения, обеспечивающие частичную очистку только производственных сточных вод или отдельного стока какого-либо производства с последующим сбросом в городскую канализацию всех сточных вод предприятия.

На некоторых предприятиях построены и действуют сооружения биологической очистки, производственных и бытовых сточных вод. В перспективе число таких предприятий будет увеличиваться, что создаст предпосылки к организации на ряде предприятий бессточных систем канализации за счет введения в состав очистных сооружений комплексов по глубокой очистке и доочистке сточных вод для возврата этих вод на технические нужды.

Совместная очистка производственных и бытовых сточных вод обуславливает возможность появления в сточной воде патогенной микрофлоры и яиц гельминтов, большая часть которых в результате очистки воды переходит в осадок.

Количество осадка, образующегося в процессе очистки, тем выше, чем выше эффективность работы очистной станции. Совершенствование методов очистки сточных вод должно вестись одновременно с совершенствованием методов обработки осадка. Сброс нестабилизированных и необезвреженных осадков на поверхность почвы приводит к их загниванию, сопровождающемуся появлением неприятных запахов и способствующему выплуду мух и других насекомых, а также может привести к заражению почвы патогенной микрофлорой и яйцами гельминтов.

В то же время стабилизация и обезвреживание осадка позволят использовать его ценные свойства, в частности дадут возможность утилизировать осадок в качестве удобрения для сельскохозяйственных полей. Необходимо отметить, что образующиеся в процессе очистки сточных вод осадки относятся к труднофильтруемым суспензиям коллоидного типа, неоднородным по составу и свойствам, что значительно осложняет их обработку.

9.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСАДКОВ

Совершенствование методов очистки сточных вод, повышение степени изъятия из них загрязнений сопровождается увеличением объемов образующихся осадков. Изменяется не только количество, но и качество осадков. На станциях биологической очистки, кроме осадка из вертикального или двухъярусного отстойников, появляется еще один вид осадка — избыточный ил или избыточная биопленка.

На станциях, работающих по схеме, показанной на рис.9.1,а, избыточный активный ил или биопленка направляется на иловые площадки. По другой схеме (рис.9.1,б) можно, кроме того, подавать их в двухъярусные отстойники. Тот и другой варианты имеют существенные недостатки. Если на иловые площадки направляются сырой осадок из первичных вертикальных отстойников и активный ил или биопленка из вторичных отстойников, создается реальная опасность быстрого загнивания их, появления неприятных запахов и т.д.

При нормальном режиме работы двухъярусных отстойников осадок, выгружаемый из них, не должен загнивать. Если же в отстойник подается

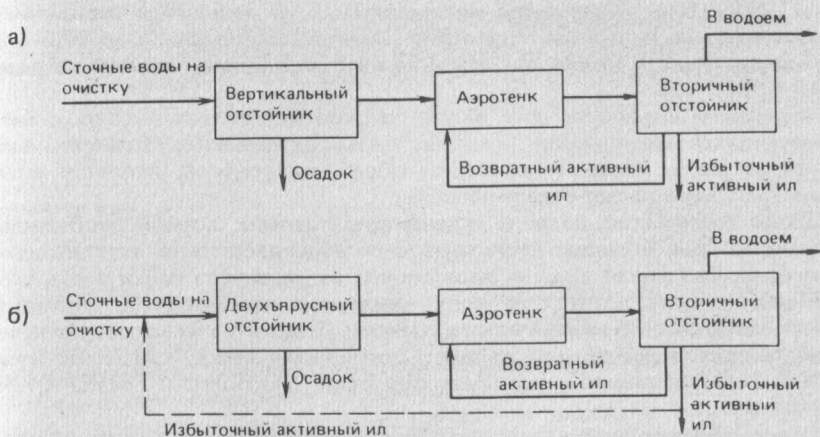


Рис. 9.1. Схема биологической очистки сточных вод

избыточный активный ил, процесс брожения может происходить не до конца, так как активный ил сбраживается значительно медленнее первичного осадка. В этом случае для получения осадка хорошего качества необходимо значительное увеличение объема септической камеры отстойника. Исследование действующих очистных сооружений одного из предприятий отрасли, работающих по схеме, представленной на рис. 9.1, б, с возвратом избыточного ила первой и второй ступеней биологической очистки в двухъярусные отстойники, показало, что хотя выгружаемый осадок и не имеет неприятного запаха, при его хранении начинается интенсивное газовыделение. Это говорит о незавершенности процесса брожения, а следовательно, о неполной стабилизации и обезвреживании осадка. Таким образом, характер осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод, определяется не только их составом, но и принятой технологической схемой работы очистных сооружений.

При существующих системах канализации сточные воды предприятий по производству лекарственных средств представляют собой смесь производственных и бытовых стоков. Осадки, образующиеся в процессе их очистки, неизменно содержат компоненты тех и других сточных вод, а следовательно, богаты органическими веществами и могут содержать патогенную микрофлору.

Анализ схем очистных сооружений предприятий (существующих, строящихся и проектируемых) позволяет сделать вывод, что характер образующихся осадков может быть весьма разнообразным. Осадки, выделяемые в процессе очистки сточных вод, можно разделить на три вида: сырой осадок, выпадающий при механической очистке воды в вертикальных отстойниках, осадки, образующиеся в процессе биологической очистки (активный ил или биопленка), и сброженный осадок из двухъярусных отстойников.

Все три вида осадков относятся к одной из самых распространенных категорий — группе гидрофильных органических осадков, для которых характерна большая обводненность и способность к быстрому загниванию (кроме осадка из двухъярусных отстойников). Влажность осадков в зависимости от их вида изменяется в пределах от 90 до 99,5%. Наименьшую влажность (90–92%) имеет осадок из двухъярусных отстойников, наиболь-

шую (99—99,5%) — активный ил, удаляемый из вторичных отстойников. Уплотнение активного ила позволяет снизить его влажность до 97,5—98%. Влажность сырого осадка из вертикальных отстойников обычно составляет 94—95%.

Поскольку влажность всех видов осадков достаточно высока, объемы образующихся на станции осадков также оказываются значительными. Одной из задач, которые преследует обработка осадков, является уменьшение их объема за счет отделения воды.

Общее количество воды в осадке представлено суммой свободной и связанной воды. Большую часть свободной воды достаточно легко выделить из осадка. Связанная вода в зависимости от характера связи с твердыми частицами осадка делится на воду, связанную химическими, физико-химическими и физико-механическим связями. Выделение из осадка связанной воды требует значительных усилий. Соотношение между связанной и свободной водой является решающим фактором способности осадка к обезвоживанию.

Определяющим параметром способности осадка отдавать воду является удельное сопротивление фильтрации. Оно зависит от соотношения форм воды в осадке, гранулометрического состава твердой фазы осадков и ее химического состава, а также от электрокинетического потенциала частиц осадков.

Осадок, выгружаемый из двухъярусных отстойников очистных сооружений предприятия по производству лекарственных препаратов, представляет собой сброженную в септической камере смесь первичного осадка и активного ила. Результаты определения удельного сопротивления этого осадка представлены в табл.9.1. Для сравнения в той же таблице даны пределы значений удельного сопротивления для аналогичных осадков городских очистных станций.

Таблица 9.1

Вид осадка	Удельное сопротивление $r \cdot 10^{11}$, см/г	
	предприятие	город
Сырой активный ил	30—65	15—170
Сброженная смесь осадка и активного ила	40—120	52—675

Данные табл.9.1 показывают, что удельное сопротивление активного ила очистных сооружений предприятия по производству лекарственных препаратов находится в пределах значений для активного ила городских станций аэрации.

Удельное сопротивление смеси, выгружаемой из двухъярусных отстойников, ниже, чем аналогичной смеси городской станции очистки. Это может быть объяснено тем, что приведенные в табл.9.1 данные относятся к смеси городских осадков, сброженной в мезофильных условиях в метантенке. По данным И.С.Туровского, сбраживание повышает удельное сопротивление осадков в тем большей степени, чем выше температура брожения.

Зольность осадков предприятий изменяется в пределах от 15 до 50%. Зольность 15% имеет сырой осадок. Однако эта цифра может оказаться и значительно более высокой. Зольность активного ила составляет 20—35%. Осадок из двухъярусных отстойников вследствие происходящих процессов брожения имеет самую высокую зольность — 50%.

В качестве примера в табл.9.2 приведена характеристика осадков сточных вод предприятия по производству лекарственных препаратов.

Таблица 9.2

Вид осадка	Влажность, %	Сухое вещество, г/л	Зольность, %
Избыточный активный ил	97,3—98,1	19—27	20—35
Осадок из двухъярусных отстойников	89,9—91,5	85—101	40—50

Интенсивность процесса сушки осадка на иловых площадках зависит от климатических условий, конструкции иловых площадок, свойств осадка. Санитарные же условия в зоне расположения очистных сооружений и степень воздействия выгруженных на иловые площадки осадков на окружающую среду полностью определяются характером удаляемых со станции осадков.

Важнейшей характеристикой осадков является содержание в них органических веществ и способность компонентов осадков к загниванию. По содержанию беззольного вещества осадки, образующиеся на очистных сооружениях химико-фармацевтических предприятий, в среднем близки к осадкам городских сточных вод. Сравнение состава беззольной части осадков, выделенных в результате первичного отстаивания сточных вод предприятий и городских сточных вод, наглядно демонстрирует это сходство. Сравнительные данные для осадков двух видов сточных вод приведены в табл.9.3, где даны средние значения для осадка городских сточных вод и результаты анализа сырого осадка сточных вод предприятий по производству лекарственных препаратов.

Таблица 9.3

Вид осадка	Состав беззольной части осадка, %			
	углеводы	жиры	белки	негидролизуемый остаток
Осадок предприятия химико-фармацевтической промышленности: сырой осадок избыточный ил	14—18 3—8	20—32 18—22	25—30 45—55	41—20 34—15
Сырой осадок городских сточных вод	28—32	25—30	14—18	33—20

Как видно из этой таблицы, беззольное вещество обоих видов осадков состоит из химических соединений одних и тех же классов. В осадке сточных вод предприятия содержание углеводов несколько ниже, чем в осадке городских сточных вод. Содержание жиров находится в тех же пределах, содержание белков несколько выше, а количество негидролизуемого остатка также находится в тех же пределах, что и в осадке городских сточных вод.

Данные по элементарному составу активного ила очистных сооружений химико-фармацевтического предприятия в сравнении с рядом действующих городских очистных сооружений приведены в табл.9.4. Из таблицы также следует, что значения показателей активного ила предприятия находятся в тех же пределах, что и показатели ила городских очистных сооружений.

Таблица 9.4

Станция аэрации (место образования активного ила)	Содержание, %					Влаж- ность, %	Золь- ность, %	Выход летучих веществ, %
	СГ	НГ	ОГ	SG	НГ _{общ}			
Люберецкая	54,9	7,7	29,7	1,0	6,7	5,0	32,1	83,4
Курьяновская	55,0	7,8	27,0	1,3	8,9	5,6	29,4	87,4
Тушинская	56,7	7,9	26,1	0,9	8,4	7,6	26,1	86,9
Химико-фармацев- тического предприя- тия	51,0	7,8	28,8	0,9	11,5	4,5	19,5	86,0
г.Орехово-Зуево	60,4	8,3	24,0	1,1	6,2	6,6	30,2	86,2

Важной характеристикой является бактериальная загрязненность осадка, возможное присутствие в нем патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов. Поскольку на очистные сооружения предприятия поступает смесь производственных и бытовых сточных вод, в санитарно-эпидемиологическом отношении эти воды идентичны городским сточным водам. То же самое можно сказать и об осадках. В процессе первичного отстаивания сточной воды происходит частичное освобождение ее от микроорганизмов (в том числе патогенных) и яиц гельминтов в результате сорбции их оседающими частицами взвеси. Эффективность этого процесса примерно соответствует эффективности работы отстойника по задержанию взвешенных веществ. Поскольку объем образующегося осадка значительно меньше объема обрабатываемой воды, в санитарно-эпидемиологическом отношении он еще более опасен, чем сточная вода. Например, количество яиц гельминтов в 1 л осадка может в десятки раз превышать концентрацию их в сточной воде. Процесс сбраживания осадка идет без подогрева, поэтому гибнет лишь незначительная часть яиц гельминтов. То же самое можно сказать и о бактериальной загрязненности осадков. Таким образом, с санитарно-эпидемиологической точки зрения осадки сточных вод предприятия также аналогичны осадкам городских сточных вод.

9.2. КОЛИЧЕСТВО ОСАДКОВ

На различных предприятиях по производству химико-фармацевтических препаратов, антибиотиков и витаминов в зависимости от мощности и номенклатуры выпускаемой продукции образуется от 2 до 20 тыс.м³/сут загрязненных сточных вод. Состав этих сточных вод (см. табл. 1.11) также изменяется в широких пределах: по взвешенным веществам — от 70 до 760 мг/л, а по БПК₂₀ — от 420 до 4900 мг/л.

Ниже приведены расчеты схем обработки осадков сточных вод предприятий, выполненные применительно к распространенному варианту стан-

ции биологической очистки с аэротенками. При этом приняты значения показателей, наиболее часто встречающиеся в отрасли: расход сточных вод — 5000 м³/сут; взвешенные вещества — 350 мг/л; БПК₂₀ — 1500 мг/л.

9.2.1. Количество сырого осадка, выпадающего в первичных отстойниках (при работе очистных сооружений по схеме рис. 9.1 а). Эффективность задержания взвешенных веществ в вертикальных отстойниках — 45%, влажность осадка — 95%.

Суточное количество сухого вещества осадка:

$$Q_{\text{сух}} = C_0 \cdot \mathcal{E} Q / 100 = 350 \cdot 45 \cdot 5000 / (100 \cdot 1000 \cdot 1000) = 0,79 \text{ т/сут};$$

объем осадка:

$$V_{\text{ос}} = Q_{\text{сух}} \cdot 100 / [(100 - \text{Вл}) \gamma] = 0,79 \cdot 100 / [(100 - 95) 1] = 15,7 \text{ м}^3/\text{сут},$$

где $Q_{\text{сух}}$ — масса сухого вещества, т; C_0 — исходная концентрация сточных вод по взвешенным веществам, мг/л; \mathcal{E} — эффективность работы сооружений, %; Q — расход сточных вод, м³/сут; $V_{\text{ос}}$ — объем осадка, м³/сут; Вл — влажность осадка, %; γ — плотность осадка, т/м³.

Плотность осадка во всех расчетах принята равной 1 т/м³.

9.2.2. Количество осадка, выгружаемого из двухъярусных отстойников (при работе очистных сооружений по схеме рис. 9.1 б). По данным эксплуатации двухъярусных отстойников на очистных сооружениях предприятия по производству лекарственных препаратов эффективность задержания взвешенных веществ в них составляет 50%:

$$Q'_{\text{сух}} = 350 \cdot 50 \cdot 5000 / (100 \cdot 1\,000 \cdot 1\,000) = 0,88 \text{ т/сут}.$$

В двухъярусных отстойниках выпавший осадок находится около двух месяцев. За это время происходит частичный распад беззольного вещества, в результате чего масса сухого вещества уменьшается примерно на 30%. Кроме того, при столь длительном времени пребывания осадка в септической камере происходит его уплотнение, вследствие чего влажность выгружаемого осадка снижается до 90%. Таким образом, масса сухого вещества в выгружаемом осадке

$$Q_{\text{сух}} = Q'_{\text{сух}} (100 - P) / 100 = 0,88 (100 - 30) / 100 = 0,62 \text{ т/сут}.$$

Объем осадка

$$V_{\text{ос}} = 0,62 \cdot 100 / [(100 - 90) 1] = 6,2 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

9.2.3. Количество избыточного активного ила. Прирост активного ила в аэротенках рассчитывается по формуле

$$Pr = 0,8 C_0 (1 - \mathcal{E}) + 0,3 \text{ БПК}.$$

Учитывая снижение БПК в процессе первичного отстаивания на 10%, подсчитываем прирост активного ила для вариантов а и б схемы, показанной на рис. 9.1:

$$\text{схема а: } Pr = 0,8 \cdot 350 (1 - 0,45) + 0,3 \cdot 1500 (1 - 0,1) = 559 \text{ г/м}^3;$$

$$\text{схема б: } Pr = 0,8 \cdot 350 (1 - 0,5) + 0,3 \cdot 1500 (1 - 0,1) = 545 \text{ г/м}^3.$$

Разница в величине прироста объясняется различной эффективностью работы вертикальных и двухъярусных отстойников.

Если пренебречь выносом ила из вторичных отстойников, то масса сухого вещества избыточного активного ила для принятого предприятия составит, т/сут:

$$И_{\text{сух}} = \text{Пр } Q.$$

Следовательно, для схемы а

$$И_{\text{сух}} = 559 \cdot 5000 / (1\,000 \cdot 1\,000) = 2,8 \text{ т/сут};$$

для схемы б

$$И_{\text{сух}} = 545 \cdot 5\,000 / (1\,000 \cdot 1\,000) = 2,7 \text{ т/сут.}$$

При влажности активного ила 99,2% объем избыточного ила составит:
для схемы а

$$V_{\text{иЛ}} = 2,8 \cdot 100 [(100 - 99,2) 1] = 350 \text{ м}^3/\text{сут};$$

для схемы б

$$V_{\text{иЛ}} = 2,7 \cdot 100 / [(100 - 99,2) 1] = 337,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Уплотнение активного ила позволяет снизить его влажность и тем самым существенно уменьшить объем ила. Объем уплотненного избыточного ила влажностью 98% составит:

для схемы а

$$V'_{\text{иЛ}} = 350 (100 - 99,2) / (100 - 98) = 140 \text{ м}^3/\text{сут};$$

для схемы б

$$V'_{\text{иЛ}} = 337,5 (100 - 99,2) / (100 - 98) = 153 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Результаты расчетов по активному илу для очистных сооружений "усредненного" предприятия отрасли приведены в табл. 9.5.

Таблица 9.5

Схема очистки	Масса сухого вещества ила, т/сут	Объем избыточного ила, м ³ /сут	
		неуплотненного	уплотненного
а	2,8	350	140
б	2,7	337,5	135

Общие объемы смеси образующихся осадка и ила для химико-фармацевтического предприятия заданной мощности при очистке сточных вод по схемам, показанным на рис. 9.1, приведены в табл. 9.6.

Таблица 9.6

Схема очистки	Масса сухого вещества осадка и ила, т/сут	Объем осадка и уплотненного избыточного ила, м ³ /сут
а	3,59	155,7
б	3,32	141,2

9.3. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ И ИХ ОЦЕНКА

В процессе очистки сточных вод в осадки переходит множество различных веществ, вследствие чего проблемы, связанные с обработкой и удалением осадков, очень сложны в отношении как проектирования, так и эксплуатации. В п. 9.1 показано, что осадки, образующиеся в процессе очистки сточных вод химико-фармацевтических предприятий, по основным характеристикам и свойствам аналогичны осадкам городских сточных вод.

Три основных свойства осадков — способность к загниванию, обводненность, бактериальная загрязненность — обуславливают и три главных цели их обработки: стабилизацию, обезвоживание и обезвреживание. Для осадков, образующихся на городских очистных станциях, разработано несколько вариантов схем обработки. Очевидно, что многие из них могут оказаться пригодными и для осадков сточных вод предприятий по производству лекарственных препаратов. При выборе того или иного варианта предпочтение отдается методу, при котором достигается лучшая стабилизация осадка, облегчающая его дальнейшую обработку и удаление, методу наиболее надежному и экономичному, позволяющему получить инертный обезвреженный конечный продукт.

Способность осадка к загниванию может быть снижена в ходе биологической или химической стабилизации. Биологические методы стабилизации осуществляются в аэробных условиях (аэробная стабилизация) или в анаэробных (анаэробное сбраживание). Химическая стабилизация достигается в результате обработки осадка реагентами. Процессы стабилизации осадка, как правило, сопровождаются частичным или полным его обезвреживанием. В зависимости от характера стабилизационного процесса способность осадка к обезвоживанию может увеличиваться или уменьшаться. Однако содержание воды в осадке в результате стабилизации не только не уменьшается, но при применении биологических методов даже возрастает.

Одним из простейших приемов сгущения осадка является процесс его гравитационного уплотнения. Этот процесс используется как для стабилизированных, так и для необработанных осадков перед их стабилизацией. Уплотнение широко применяется для уменьшения объема избыточного активного ила. Уплотнение активного ила приводит к значительному возрастанию его удельного сопротивления. Наиболее резко удельное сопротивление увеличивается при концентрации активного ила выше 20 г/л.

Для обезвоживания осадка в настоящее время используют процессы сушки в естественных условиях и механические процессы: фильтрование под давлением, фильтрование под вакуумом, центрифугирование.

При выборе метода обработки осадка учитывается не только его состав, но и количество образующегося осадка, возможность его утилизации, местные условия. Расчеты, приведенные в п. 9.2, показывают, что количество осадков, образующихся на предприятии при использовании любой из схем очистки сточных вод с учетом предварительного уплотнения, составляет около 150 м³/сут.

Из перечисленных методов стабилизации и обезвоживания осадков для небольших объектов неприменим только вариант сбраживания осадка в метантенках из-за экономической нецелесообразности строительства метантенков небольшого объема и осложнений, возникающих при их эксплуатации. Все остальные методы прошли достаточно длительную апро-

бацию на осадках городских сточных вод, а сходство этих осадков с осадками сточных вод предприятий позволяет сделать необходимые расчеты и оценить целесообразность того или иного метода обработки осадков сточных вод применительно к предприятиям по производству лекарственных препаратов.

9.3.1. Биологические методы стабилизации осадков. 9.3.1.1. Анаэробное сбраживание в двухъярусных отстойниках. Этот метод стабилизации осадка является наиболее простым как по конструктивному оформлению, так и в эксплуатации. Именно в силу этих причин двухъярусные отстойники широко применяют на станциях небольшой производительности, в том числе на очистных сооружениях химико-фармацевтических предприятий.

Сбраживание и уплотнение осадка происходит в септической камере отстойника и протекает аналогично анаэробному процессу в метантенках. В правильно спроектированных и нормально эксплуатируемых сооружениях протекают обе фазы брожения, в результате чего образуется достаточно стабилизированный осадок. Поскольку процесс сбраживания в двухъярусных отстойниках происходит без подогрева, для созревания осадка требуется от 60 до 120 сут.

Недостатком процесса стабилизации осадка в двухъярусных отстойниках является то, что выгружаемый из них осадок не обезврежен. Характерный для септических камер температурный диапазон 10—15°C не обеспечивает гибель яиц гельминтов и полное уничтожение патогенной микрофлоры. Поэтому перед использованием такого осадка в качестве удобрения следует обеспечить его обеззараживание.

Рассчитаем объем септической камеры двухъярусного отстойника для очистки сточных вод предприятия по схеме, показанной на рис. 9.1, б. Количество сухого вещества, задерживаемого двухъярусным отстойником, при эффективности его работы 50% и уменьшении объема на 30% за счет сбраживания составило 0,62 т/сут. При продолжительности сбраживания осадка 60 сут и его уплотнении до влажности 90% требуемый объем септической камеры

$$W_k = \frac{0,62 \cdot 60 \cdot 100}{(100-90) \cdot 1} \cdot 1,2 = 446,4 \text{ м}^3,$$

где 1,2 — коэффициент, учитывающий, что при выгрузке осадка из отстойников в септической камере остается 20% зрелого осадка.

На очистных станциях, работающих по схеме, показанной на рис. 9.1, б, возможен вариант подачи в двухъярусный отстойник избыточного активного ила. в этом случае объем септической камеры должен быть, согласно СНиП П-32-74, увеличен на 70%, и его расчетный объем $W_k = 446,4 \cdot 1,7 = 759 \text{ м}^3$. В нашем случае объем септической камеры, необходимый для сбраживания смеси осадка и ила, можно подсчитать по суммарному количеству осадков:

$$\begin{aligned} W_k &= \frac{(O_{\text{сух}} + I_{\text{сух}}) \cdot (1-\varepsilon) \cdot 60 \cdot 100}{(100-90)} \cdot 1,2 = \\ &= \frac{(0,88 + 2,7) \cdot (1-0,3) \cdot 60 \cdot 100}{(100-90)} \cdot 1,2 = 1\,804 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Таким образом, расчеты показали, что при использовании варианта подачи в двухъярусный отстойник активного ила объем септической камеры должен быть увеличен не на 70%, как это указано в СНиП II-32-74, а на 1804 · 100/446,4—100 = 304%.

Если же принять во внимание, что активный ил сбраживается значительно труднее осадка и для достижения 30% распада сухого вещества ила потребуются не 60 сут, как для осадка, а больше, то объем септической камеры при подаче в двухъярусный отстойник возрастет еще больше. Прием это увеличение равным 30%. Результаты подбора типовых двухъярусных отстойников приведены в табл. 9.7.

Таблица 9.7

Схема очистки	Количество выгружаемого осадка из двухъярусного отстойника		Требуемый объем септической камеры двухъярусного отстойника, м ³	Типовой двухъярусный отстойник		
	м ³ /сут	т/сут		число отстойников	d, м	H, м
Без подачи ила в двухъярусный отстойник С подачей ила в двухъярусный отстойник	6,2	0,62	446,4	2	9	8,5
	25,0	2,5	2 345	6	12	9,4

9.3.1.2. Аэробная стабилизация. По этому методу осуществляют длительную аэрацию осадка, чтобы стимулировать (для активного осадка из первичных отстойников) или продлить (для активного ила) рост аэробных микроорганизмов после стадии клеточного синтеза и достичь стадии самоокисления. Аэробная стабилизация обеспечивает значение БПК₅ иловой воды в пределах 50—500 мг/л, образование биологически стабильного и лишённого запаха конечного продукта, частичное сохранение в осадках полезных для удобрения почвы свойств, простоту эксплуатации, низкую строительную стоимость.

Изменение сопротивления осадков в процессе аэробной стабилизации показано в табл. 9.8. Как видно из этой таблицы, аэробная стабилизация предварительно уплотненного активного ила и его смеси с сырым осадком ухудшает водоотдающие свойства осадков. Аэрирование неуплотненного ила позволяет улучшить его способность отдавать воду.

Таблица 9.8

Тип осадка	Удельное сопротивление $\eta \cdot 10^{-10}$, см/г	
	до аэрации	после аэрации
Активный ил, неуплотненный	140—940	90—650
Активный ил, уплотненный	800—1700	4 000—6 250
Смесь сырого осадка и неуплотненного активного ила	190—430	100—180
Смесь сырого осадка и уплотненного активного ила	600—1 200	2 470—6 720

Аэробная стабилизация — процесс, легко управляемый, способный выдерживать изменение нагрузки, pH и дозы в определенных пределах температуры. Он применяется все шире на станциях средней производительности.

ти. Процесс аэробной стабилизации обеспечивает снижение коли-индекса на 95—99%, наблюдается также инаktivация вирусов. Это объясняется достаточно высоким редокс-потенциалом (до 700 мВ). Однако яйца гельминтов при этом не погибают, поэтому перед использованием аэробно стабилизированных осадков в качестве удобрения требуется их дегельминтизация.

В качестве примера ниже приведены необходимые расчеты процесса аэробной стабилизации смеси осадка и активного ила для очистной станции принятого нами „усредненного“ предприятия, работающей по схеме *арис. 9.1.*

Суммарный объем осадков

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{ил}} = 15,7 + 350 = 365,7 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Суммарная масса сухого вещества

$$M_{\text{сyx}} = O_{\text{сyx}} + I_{\text{сyx}} = 0,79 + 2,8 = 3,59 \text{ т/сут.}$$

Средняя влажность смеси

$$W_{\text{лсм}} = 100(1 - M_{\text{сyx}} / V_{\text{общ}}) = 100(1 - 3,59/365,7) = 99,02\%.$$

При средней зольности *Зл* смеси 40% масса беззольного вещества составит

$$M_{\text{сyx}}(100 - Z_{\text{л}}) / 100 = 3,59 \cdot 0,6 = 2,154 \text{ т/сут.}$$

Согласно СНиП II-32-74, длительность аэробной стабилизации смеси осадка и активного ила составляет 10 сут. Тогда объем зоны аэрации стабилизатора $V_{\text{общ}} \cdot 10 = 365,7 \cdot 10 = 3657 \text{ м}^3$.

Зона отстаивания в стабилизаторе рассчитывается на 2 ч:

$$(V_{\text{общ}}/24) \cdot 2 = (365,7/24) \cdot 2 = 30,5 \text{ м}^3.$$

Общий объем аэробного стабилизатора *W* складывается из зоны аэрации и зоны отстаивания:

$$W = 3652 + 30,5 = 3682,5 \text{ м}^3.$$

Принимая распад беззольного вещества смеси осадка и ила в соответствии со СНиП II-32-74 (п. 7.191) равным 30%, получим количество распавшегося беззольного вещества: $2,154 \cdot 0,3 = 0,646 \text{ т/сут.}$ Количество сухого вещества после стабилизации уменьшится и окажется равным $3,59 - 0,646 = 2,944 \text{ т/сут.}$

На дальнейшую обработку стабилизированная смесь удаляется после предварительного уплотнения в зоне отстаивания. Влажность уплотненной смеси принимается равной 98%. Тогда ее объем составит

$$2 \cdot 944 \cdot 100 / [(100 - 98) \cdot 1] = 147,2 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Количество сливной воды из стабилизатора равно $365,7 - 147,2 = 218,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$

В случае аэробной стабилизации одного неуплотненного ила время аэрации составляет 7 сут, распад беззольного вещества 20%, влажность уплотненной стабилизированной смеси 98,5%. В процессе аэробной стабилизации на

окисление 1 г беззольного вещества осадков затрачивается 2 г кислорода. Общая потребность в кислороде составит $2 \cdot 646 = 1\,292$ кг/сут.

При использовании пневматической аэрации коэффициент использования воздуха принимается равным 5%. Общие затраты кислорода составляют $1\,292 \cdot 100/5 = 25\,840$ кг/сут. Содержание кислорода в воздухе по массе равно 23,1%, плотность воздуха $1,205$ кг/м³. Расход воздуха составляет $25\,840 \times 100/23,1 \cdot 1,205 = 92\,831$ м³/сут.

Результаты расчетов для двух вариантов приведены в табл. 9.9.

9.3.1.3. Компостирование осадков. Метод компостирования осадков сточных вод целесообразно применять для станций с небольшой производительностью. Он заключается в смешении осадка с заранее приготовленным компостом, имеющим низкую влажность (около 40%), для уменьшения влажности смеси до 50–60% с последующей аэрацией в течение 21 сут. Дополнительное высушивание компоста продолжается до 30 сут.

Таблица 9.9

Схема очистки	Объем осадков, м ³ /сут		Масса сухого вещества, т/сут		Расчетный объем аэробного стабилизатора, м ³	Потребность в кислороде, кг/сут	Расход воздуха, м ³ /сут
	исходный	конечный	исходная	конечная			
<i>a</i>	365,7	147,2	3,59	2,94	3 688	1 292	92 800
<i>б</i>	343,7	146,8	3,58	2,93	3 466	1 288	92 400

Для получения первоначального компоста можно использовать инертные заполнители типа древесных опилок. Метод прост в эксплуатации и не требует больших капитальных затрат. Компостированием достигается не только стабилизация осадка, но и его обеззараживание, так как в результате протекания биологических процессов разложения органических веществ температура внутри компостных куч поднимается до 50–70°C и удерживается на этом уровне 15–20 сут. При этом уменьшается влажность и объем компоста.

Проведем расчет метода компостирования для станции, работающей по схеме *a* рис. 9.1. Объем осадка, подлежащего компостированию, $V_{\text{ос}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{ил}} = 15,7 + 140 = 155,7$ м³/сут. В этом случае принимается объем уплотненного до 98% избыточного ила. Плотность осадка $\gamma_{\text{ос}} = 1$ т/м³. Количество сухого вещества осадка для компостирования

$$M_{\text{сух}} = O_{\text{сух}} + I_{\text{сух}} = 0,79 + 2,8 = 3,59 \text{ т/сут.}$$

К исходному осадку доставляют компост влажностью 40%, $\gamma_{\text{комп}} = 0,5$ т/м³. Объем добавляемого компоста $V_{\text{доб}} = 4V_{\text{ос}} = 155,7 \cdot 4 = 623$ м³/сут. Содержание сухого вещества в добавляемом компосте

$$M_{\text{комп}} = V_{\text{доб}} \cdot \gamma_{\text{доб}} (100 - W_{\text{л}}) / 100 = 623 \cdot 0,5 (100 - 40) / 100 = 186,9 \text{ т/сут.}$$

Объем смеси осадка и компоста $V_{\text{см}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{доб}} = 155,7 + 623 = 778,7$ м³/сут.

Сухое вещество смеси $M_{\text{см}} = M_{\text{сух}} + M_{\text{комп}} = 3,59 + 186,9 = 190,49$ т/сут;

$$\gamma_{\text{см}} = (1\gamma_{\text{ос}} + 4\gamma_{\text{комп}}) / 5 = (1 \cdot 1 + 4 \cdot 0,5) / 5 = 0,6 \text{ т/м}^3.$$

Влажность исходной смеси

$$Вл_{см} = 100 - 100M_{см} / (V_{см} \gamma_{см}) = 100 - 100 \cdot 190,49 / (778,7 \cdot 0,6) = 59,2\%.$$

В результате испарения влаги после компостирования влажность смеси составляет 40%, а объем

$$V'_{см} = 100M_{см} / [(100 - Вл) \gamma_{комп}] = 100 \cdot 190,49 / [(100 - 40) \cdot 0,5] = 635 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Потеря объема в результате испарения влаги составила $\Delta V = V_{см} - V'_{см} = 778,7 - 635 = 143,7 \text{ м}^3/\text{сут}$, т.е. около 20% первоначального объема.

Поскольку аэрация компостной кучи длится 21 сут, целесообразно принять число куч равным $21 + 1$ (одна куча на разгрузку). Схема компостирования и размеры компостной кучи в схеме хранения компоста показаны на рис. 9.2 и 9.3. Длина компостной кучи при площади ее сечения 4 м^2 $L = V_{см}/4 = 778,7/4 = 195 \text{ м}$.

Воздух в компостные кучи подают с помощью вентиляторов в количестве $15 \text{ м}^3/\text{кг}$ сухого вещества компостируемой смеси. Общий расход воздуха $Q_{возд} = 15M_{см} = 15 \cdot 190\,490 \approx 2\,857\,350 \text{ м}^3/\text{сут}$, т.е. $2\,857\,350/21 = 136\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$ на 1 кучу, или $5700 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха на 1 кучу.

Результаты расчетов по схемам очистки а и б (см. рис. 9.1) приведены в табл. 9.10.

Таблица 9.10

Схема очистки	Объем исходного осадка, $\text{м}^3/\text{сут}$	Объем смеси исходного осадка и компоста, $\text{м}^3/\text{сут}$	Общая масса сухого вещества смеси, т/сут	Длина одной компостной кучи, м	Площадь площадки для компостирования, м^2	Требуемое количество воздуха, тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$
а	155,7	778,7	190,49	195	$415 \cdot 70 = 29\,050$	119,0
б	141,2	706	172,76	177	$380 \cdot 70 = 26\,600$	108,0

9.3.2. Химические методы стабилизации осадков. Стабилизация осадков биологическими методами требует сооружений большого объема, так как длительность процесса исчисляется сутками. В том случае, когда по экономическим соображениям важно снизить капиталовложения, для стабилизации осадков целесообразно использовать химические методы.

Введение реагентов не изменяет свойства биологически разрушаемых органических веществ, но оказывает в основном бактерицидное действие. Из реагентов наиболее часто применяют известь вследствие ее низкой стоимости, однако ее эффективность зависит от вида обрабатываемого осадка (жидкий или обезвоженный).

Метод стабилизационной обработки осадков известью (известкование осадков) вновь привлек к себе внимание сравнительно недавно, его разрабатывает сразу несколько зарубежных фирм. Сущность метода заключается в доведении pH обрабатываемых осадков до 12 и удерживании этого значения

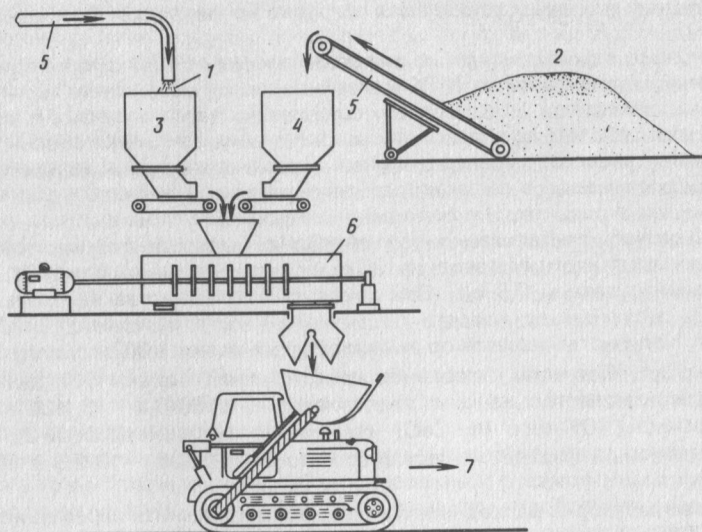
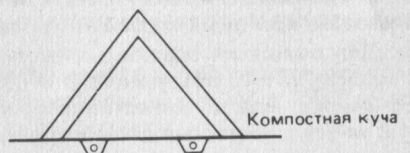


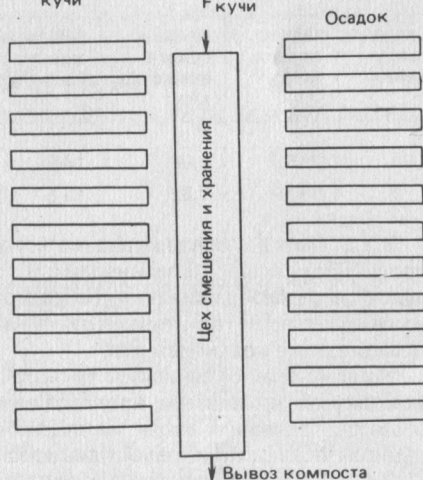
Рис. 9.2. Принципиальная схема компостирования

1 — осадок; 2 — компост; 3 — дозатор осадка; 4 — дозатор компоста; 5 — трубопровод осадка; 6 — смеситель; 7 — в компостные кучи



$$F_{\text{кучи}} = 4 \text{ м}^2 \quad L = \frac{V_{\text{ос}}}{F_{\text{кучи}}} \text{ м}$$

Рис. 9.3. Принципиальная схема хранения компоста



в течение 30 мин. Исследования зарубежных ученых показали, что при таких условиях наряду со стабилизацией осадков достигается и их обезвреживание, резко уменьшаются неприятные запахи. Для удержания значения pH осадка, равного 12, необходимо сначала довести его до 12,5. При последующем

обезвоживании на иловых площадках нагрузка на них может быть увеличена в 1,5 раза.

Стабилизация осадков известью вне зависимости от типа осадка приводит к увеличению щелочности и ХПК иловой воды и уменьшению количества растворимых фосфатов. Уменьшается содержание азота аммиака и общего азота по Кьельдалю для всех осадков, за исключением активного ила.

Экспериментальными исследованиями установлено, что концентрация патогенных организмов в осадках, стабилизированных известью, в 10–1 000 раз меньше, чем в осадках, сброженных в анаэробных условиях.

Пример расчета стабилизационной обработки осадков сточных вод для химико-фармацевтических предприятий выполнен для схемы б рис. 9.1. Доза извести принята равной 0,3 г/г. При массе сухого вещества выгружаемого осадка $3,32 \text{ т/сут}$ расход извести по активной части составит $0,3 \cdot 3,32 = 1,0 \text{ т/сут}$. Количество извести по активной части равно $1\,000 \text{ кг/сут} \cdot 1,36 = 1\,360 \text{ кг/сут}$. Поскольку товарная известь имеет только 40% активной части, общее количество извести увеличивается: $1360/0,4 = 3\,400 \text{ кг/сут}$.

При плотности 10%-ного (по CaO) известкового молока, равной $2,5 \text{ т/м}^3$, получаем суточный расход известкового молока: $3400 \cdot 10/2,5 \cdot 1000 = 13,6 \text{ м}^3/\text{сут}$.

В качестве растворно-расходных баков удобно применить перемешиватели марки ПМТ. Принимаем четыре резервуара марки ПМТ-31 объемом $20,8 \text{ м}^3$ каждый. Для перекачивания извести, а также смеси осадка с известью можно использовать песковый насос НП-1М, подача которого равна $7,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напор 12 м. Для смешения осадка с известью также можно принять перемешиватель марки ПМТ-40 объемом $40,0 \text{ м}^3$. Общий объем осадка, предварительно уплотненного ила и известкового молока равен $6,2 + 135 + 13,6 = 154,8 \text{ м}^3/\text{сут}$. Расчетные данные приведены в табл. 9.11.

Таблица 9.11

Схема сооружений	Объем осадка, $\text{м}^3/\text{сут}$	Масса сухого вещества, т/сут	Объем известкового молока, $\text{м}^3/\text{сут}$	Общий объем смеси, $\text{м}^3/\text{сут}$	Общий расход товарной извести 40%-ной активности, т/сут
а	155,7	3,59	14,6	170,3	3,66
б	141,2	3,32	13,6	154,8	3,4

9.3.3. Методы обезвоживания осадков. Процессы стабилизации подавляют способность осадка к загниванию и позволяют в той или иной степени решить задачу его обезвреживания, но содержание воды в осадке часто не только не уменьшается, но при применении некоторых биологических методов стабилизации даже увеличивается.

Жидкие осадки занимают большой объем, транспортировка их затруднена, поэтому обезвоживание является важной задачей в общей системе обработки осадков. Удаление влаги из осадков и уменьшение их объема достигается сушкой осадка на иловых площадках и его механическим обезвоживанием.

9.3.3.1. Сушка осадков в естественных условиях. Самым простым и широко применяемым способом обезвоживания до сих пор остается сушка осадков в естественных условиях на иловых площадках. Процесс сушки на иловых площадках идет достаточно медленно, зависит от климатической зоны и погодных условий. В районе иловых площадок возможно появление неприятных запахов, они могут служить местом выплода мух.

Достоинством этого метода является его простота. Однако при отсутствии механизации уборки осадка с площадок эксплуатация их осложняется. Для уменьшения требуемой площади земельных участков, которые становятся все более дефицитными, предпринимаются попытки интенсификации процесса сушки на иловых площадках. Интенсифицировать процесс сушки можно либо усовершенствованием конструкции площадок, либо подготовкой осадка перед подачей на площадки.

Усовершенствование конструкции площадок, как правило, сопровождается существенным ее усложнением. К числу новых типов иловых площадок, разработанных за рубежом, относятся площадки с подогревом дна, площадки, работающие под вакуумом, площадки с фильтрующими перегородками и подачей вспомогательной воды, крытые площадки. Производительность площадок может быть повышена в 2—3 раза в результате предварительной обработки осадка полиэлектролитами.

В отечественной практике применения находят иловые площадки на естественном и искусственном основании, площадки с поверхностным отводом воды, площадки-уплотнители.

Самыми простыми являются площадки на естественном основании. Выпуск на иловые площадки нестабилизированных осадков недопустим. При использовании высушенного осадка в качестве удобрения необходимо обеспечить его обезвреживание. Поскольку для нормальной эксплуатации площадок необходима периодическая их очистка, утилизация высушенного осадка очень желательна, в противном случае приходится изыскивать места для его складирования.

Расчет иловых площадок выполнен для схемы а рис. 9.1. Суточный объем осадка и уплотненного избыточного ила составляет $15,7 + 140 = 155,7 \text{ м}^3/\text{сут}$. Площадь иловых площадок определяется по формуле

$$S = (V_{\text{ос}} \cdot 365/K) 1,2,$$

где K — нагрузка на иловую площадку, определяется по СНиП II-32-74, для принятого расчетного случая $K = 0,8 \text{ м}^3/\text{м}^2$; 1,2 — коэффициент, учитывающий площадь дорог и валиков.

Таким образом, $S = (155,7 \cdot 365/0,8) 1,2 = 85\,246 \text{ м}^2$.

В табл. 9.12 приведены результаты расчетов иловых площадок для различных схем очистных станций.

Таблица 9.12

Схема очистки	Нагрузка на площадки, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$	Объем осадка, $\text{м}^3/\text{сут}$	Площадь иловых карт, м^2
а	0,8	155,7	85 246
б (при раздельной подаче на площадки осадка из двухъярусного отстойника и уплотненного избыточного ила)	2,0 и 0,8	141,2	75 270
б (при подаче избыточного ила в двухъярусный отстойник)	2,0	25,0	5 475
а (при аэробной стабилизации осадка)	1,2	147,2	53 728
б (при аэробной стабилизации осадка)	1,2	146,8	53 582
а (при стабилизационной обработке осадков известью)	1,2	170,3	62 159
б (при стабилизационной обработке осадков известью)	1,2	151,8	55 407

9.3.3.2. *Обезвоживание осадков на вакуум-фильтрах.* Фильтрация с применением вакуума на вращающихся барабанных фильтрах — наиболее распространенный способ механического обезвоживания осадков. Осадки перед обезвоживанием кондиционируют, а сброженный осадок, кроме того, промывают 3—5-кратным объемом воды.

Для химического кондиционирования осадков перед вакуум-фильтрацией предпочтительнее использовать неорганические реагенты, благоприятно влияющие на сжимаемость, плотность и влажность образующегося кека. В отечественной и зарубежной практике применяют хлорное железо в сочетании с известью. От 20 до 40% использованных реагентов переходит в раствор, остальная часть оказывается в кеке, увеличивая содержание сухого вещества в нем и зольность. Добавка извести приводит к повышению значения pH до 10—11. Щелочная среда обеспечивает достаточно высокий бактерицидный эффект, который проявляется тем дольше, чем ниже влажность кека. При вакуум-фильтрации влажность осадка снижается до 80%. Расчет вакуум-фильтрационной установки выполнен для варианта а (см. рис. 9.1) станции очистки сточных вод.

Суммарный объем сырого осадка из первичных отстойников и уплотненного активного ила равен $15,7 + 140 = 155,7 \text{ м}^3/\text{сут}$, масса сухого вещества составляет $0,79 + 2,8 = 3,59 \text{ т/сут}$, а влажность смеси $W_{\text{л}} = 100 (1 - M_{\text{сух}}/V_{\text{осад}}) = 100 (1 - 3,59/155,7) = 97,7\%$. При вакуум-фильтрации объем осадка уменьшится в $(100 - 80) / (100 - 97,7) = 8,7$ раз и составит $17,9 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Необходимую площадь вакуум-фильтра рассчитывают исходя из количества сухого вещества в исходном осадке и производительности фильтра, зависящей от типа осадка. Для смеси сырых осадков сточных вод химико-фармацевтических предприятий производительность фильтра принимается равной $15 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Самый малый из типовых вакуум-фильтров БОУ-5-1,75 имеет фильтрующую поверхность 5 м^2 . Его производительность равна $15 \cdot 5 = 75 \text{ кг/ч}$. При общей массе сухого вещества $3,59 \text{ т/сут}$ два вакуум-фильтра такой производительности должны работать $3590 : 2 \cdot 75 = 24 \text{ ч}$.

При проектировании механического обезвоживания необходимо предусматривать аварийные иловые площадки на 20% годового количества осадков; площадь иловой площадки

$$S = 155,7 \cdot 365 \cdot 20 \cdot 1,2 / (100 \cdot 0,8) = 17\,049 \text{ м}^2.$$

Расчет реагентного хозяйства проводят следующим образом. Доза извести при вакуум-фильтрации смеси сырого осадка и уплотненного активного ила составляет 13% по сухому веществу. Суточная потребность в извести по CaO равна $3,59 \cdot 0,13 = 0,467 \text{ т/сут} = 467 \text{ кг/сут}$. Суточная потребность в извести по активной части составит $467 \cdot 1,36 = 635 \text{ кг/сут}$. Поскольку товарная известь имеет лишь 40%-ную активность, количество потребной извести равно $635 : 0,4 = 1\,588 \text{ кг/сут}$.

Известь обычно добавляют в виде известкового молока. При использовании 10%-ного известкового молока и $\eta_{\text{изв}}$, равной 2,5, суточный объем известкового молока составит $1588 \cdot 10 / (2,5 \cdot 1000) = 6,3 \text{ м}^3/\text{сут}$. Общий объем растворо-расходных баков при 15-суточном запасе составит $6,3 \cdot 15 = 94,5 \text{ м}^3$. Принимаем три перемешивателя марки ПМТ-40 общим объемом 120 м^3 .

Доза хлорного железа составляет для смеси сырого осадка и уплотненного активного ила 5% по сухому веществу. Требуемое количество хлорного же-

леза равно $3,59 \cdot 0,05 = 0,18$ т/сут. Содержание активной части в товарном продукте составляет 95%. По товарному продукту количество хлорного железа равно $0,18 : 0,95 = 0,19$ т/сут. Объем 10%-ного раствора хлорного железа при $T_{\text{FeCl}_3} = 1,085$ т/м³ составляет $190 \cdot 100 / (1000 \cdot 1,085 \cdot 10) = 1,75$ м³/сут. Запас хлорного железа на 20–30 сут равен $1,75 \cdot 25 = 43,8$ м³. В качестве растворно-расходных баков принимаем два перемешивателя типа ПМТ-25.

Для промывки поверхности фильтра применяют 10%-ный раствор ингибированной соляной кислоты. Потребность ее для двух вакуум-фильтров площадью по 5 м² составляет 150 л/год на 1 м² фильтрующей поверхности: $2(150 \cdot 5) = 1500$ л/год. Расходный бак на 60 сут должен иметь объем $1500 \times 60 / 365 = 0,24$ м³.

Результаты расчетов для разных схем станций приведены в табл. 9.13.

Таблица 9.13

Схема сооружений	Объем исходного осадка, м ³ /сут	Масса сухого вещества, т/сут	Объем осадка после обезвоживания, м ³ /сут	Площадь аварийных иловых площадок, м ²	Потребность в товарных реагентах, т/сут	
					известь	хлорное железо
<i>a</i>	155,7	3,59	17,9	17 049	1,59	0,19
<i>б</i>	6,2+135	3,32	16,6	15 054	1,47	0,175
<i>б</i> (при подаче ила в двухъярусный отстойник)	25,0	2,5	12,5	1095	1,1	0,132
<i>a</i> (при аэробной стабилизации)	147,2	2,94	14,7	16 118	1,3	0,16
<i>б</i> (при аэробной стабилизации)	146,8	2,93	14,7	16 009	1,3	0,16

9.3.3.3. Обезвоживание осадков на центрифугах. Этот процесс получил распространение в последние годы. К преимуществам данного метода относятся возможность полной автоматизации процесса, независимость его от климатических условий, сокращение продолжительности цикла обезвоживания. В отличие от вакуум-фильтрации на центрифугах можно обезвоживать осадки без предварительного кондиционирования. Однако центрифугирование сопровождается образованием большого количества фугата с высокой концентрацией взвешенных веществ. Фугат требует дальнейшей обработки: аэробной стабилизации при центрифугировании сырых осадков и обезвоживания на иловых площадках при центрифугировании сброженных и стабилизированных осадков.

В настоящее время машиностроительные заводы нашей страны выпускают более 50 типоразмеров центрифуг. Для обезвоживания осадков сточных вод применяют осадительные горизонтальные центрифуги со шнековой выгрузкой осадка (типа ОГШ).

Для примера расчета метода центрифугирования осадков сточных вод предприятий отрасли возьмем схему станции с первичными вертикальными отстойниками и аэротенками. На центрифугирование поступает смесь сырого осадка и неуплотненного избыточного активного ила влажностью 99%, влажность выгружаемого кека принимается равной 80%, эффективность задерживания взвешенных веществ составляет 30% для смеси сырых осадков.

В 1 м³ исходной смеси содержалось $3\,590/365,7 \approx 10$ кг сухого вещества; в виде кека задержано количество сухого вещества, равное $10 \cdot 0,3 = 3,0$ кг/м³. Объем этого кека при его влажности 80%, т.е. содержании су-

хого вещества 200 кг/м^3 , составляет $3,0 : 200 = 0,015 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Если из 1 м^3 обрабатываемой смеси получается $0,015 \text{ м}^3$ кека, то объем фугата составляет $0,985 \text{ м}^3$. При общем объеме смеси $365,7 \text{ м}^3/\text{сут}$ общий объем кека и фугата для данной схемы очистной станции составит соответственно $5,48$ и $360,22 \text{ м}^3/\text{сут}$. Количество сухого вещества в полученном фугате равно $10-3,0 = 7,0 \text{ кг/м}^3$, а концентрация фугата по взвешенным веществам составляет $7,0 : 0,985 = 7,1 \text{ г/л}$.

Результаты расчетов метода центрифугирования и подбор центрифуг приведены в табл. 9.14. Для обработки фугата применяют метод аэробной стабилизации с последующей выгрузкой фугата на иловые площадки. Результаты расчета приведены в табл. 9.15.

Таблица 9.14

Схема очистки	Э, %	Кек		Фугат		Марка центрифуги	Производительность, $\text{м}^3/\text{ч}$	Число рабочих часов в сутки	Число рабочих центрифуг
		V , $\text{м}^3/\text{сут}$	$V_{\text{л}}$, %	V , $\text{м}^3/\text{сут}$	C , кг/м^3				
а (смесь сырых осадков)	30	5,48	80	360,22	7,0	ОГШ 502 К-4	10	19	2
б (сброженная смесь осадка и активного ила)	40	3,33	70	21,67	69,2	ОГШ 352 К-3	4	7	1

Таблица 9.15

Схема очистки	Количество сухого вещества, т/сут		Объем фугата, $\text{м}^3/\text{сут}$		Расчетный объем аэробного стабилизатора, м^3	Потребность в кислороде, кг/сут	Требуемый расход воздуха, тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$	Площадь иловых площадок, тыс. м^2
	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки				
а	2,52	2,066	360,2	103,3	3 632	18 160	65,24	56,6
б (сброженная смесь)	1,5	1,23	21,67	17,0	217	10 800	38,8	9,3

10. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Особенности эксплуатации очистных сооружений вытекают из специфических условий образования и характера производственных загрязненных сточных вод, а также содержащихся в них химических веществ. В табл. 1.11 приведен общий усредненный состав сточных вод различных производств, в соответствии с которым такой, например, показатель, как ХПК сточных вод, может колебаться от 610 до $7\,850 \text{ мг/л}$. Таким же колебаниям подвержены многие показатели, характеризующие степень загрязненности стоков,

а также объем сточных вод, в котором эти загрязнения могут находиться. Указанные колебания носят циклический характер с периодом цикла от квартала до года (в соответствии с принятой за данный период номенклатурой и мощностью производств).

Учитывая это, при эксплуатации сооружений необходимо особое внимание уделять следующим стадиям подготовки и очистки сточных вод: усреднению по количеству и составу; нейтрализации; подпитке биогенными добавками в требуемом соотношении; биологической очистке в аэротенке с регенератором, где могут изменяться объемы зон регенерации и аэрации и количество подаваемого в них воздуха; своевременному выводу из аэрационной системы избыточного активного ила, так как в сточных водах ряда производств могут содержаться в значительных количествах химические вещества с большими удельными значениями БПК.

10.1. Пуск, наладка и эксплуатация

Наладке сооружений должно предшествовать тщательное изучение проекта, по которому осуществлено строительство. Одновременно проводится осмотр сооружений, при котором все сооружения должны находиться в сухом состоянии.

Первый этап работы — составление детального пооперационного плана мероприятий по каждому сооружению, технологическому процессу и всему комплексу. Комплексное технологическое опробование и наладку очистных сооружений осуществляют при различных нагрузках (по расходу воды и по степени загрязнений стоков) для выявления эффективности очистки при перегрузках или интенсификации.

Перед началом испытаний целесообразно провести технологические опыты в лабораторных условиях, результаты которых помогут уточнить показатели процесса очистки сточных вод.

При наладке и эксплуатации необходимо тщательно отрегулировать и постоянно поддерживать в рабочем состоянии систему гидравлического или пневматического перемешивания сточных вод в усреднителе. Выполнение этого условия не только обеспечивает усреднение сточных вод, но и препятствует выпадению в усреднителе взвешенных веществ.

Если в качестве нейтрализующего агента используют известь, то на станции нейтрализации необходимо постоянно соблюдать условия по предотвращению зарастания рабочих трубопроводов и дозирующих устройств, что может быть достигнуто тщательным гашением извести, постоянным перемешиванием известкового молока в растворном баке и промывкой трубопроводов. Концентрация рабочего известкового молока не должна превышать 10%. Растворные баки и дозирующие устройства дублируются.

Биогенная подпитка должна постоянно обеспечивать необходимое содержание азота и фосфора.

При пуске и наладке аэрационных сооружений необходимо тщательно отрегулировать водо- и воздухораспределительные системы с тем, чтобы в процессе эксплуатации при значительных изменениях состава сточных вод или характера загрязняющих веществ можно было с целью оптимизации аэрационного процесса изменять соотношение объема зон собственно регенерации и, соответственно, расходы воздуха в эти зоны.

Ниже изложены некоторые условия наладки и эксплуатации по ряду сооружений, которые наиболее часто встречаются в схеме очистки сточных вод химико-фармацевтических производств.

10.1.1. Первичные отстойники. Необходимый эффект работы первичных отстойников определяется требованиями к качеству осветленной воды. Отстаиванием удастся осадить лишь грубые взвешенные вещества. Необходимо добиваться, чтобы вынос взвешенных веществ из первичных отстойников не превышал 100 мг/л. С этой целью рекомендуется увеличивать период отстаивания не менее чем до 2 ч.

Важным условием хорошей работы отстойника является своевременное удаление из него задержанных осевших и всплывающих веществ. При удалении осадка необходимо следить за его уровнем и влажностью. Несвоевременная выгрузка осадка создает условия для его загнивания и образования газов брожения. Выделяющиеся пузырьки газов, поднимаясь на поверхность, флотируют со дна отстойника и из потока воды часть взвешенных веществ, увеличивая их вынос и ухудшая качество осветленной воды. Чрезмерное накопление осадка помимо загнивания приводит к закупорке отводящих труб отстойника осадком. Наоборот, если осадка откачать больше, чем требуется, значительно увеличивается его влажность, что нежелательно.

Периодичность удаления осадка из отстойника устанавливают в каждом конкретном случае на основе опытов эксплуатации или специального исследования. При самотечном выпуске осадка, т.е. выпуске под гидростатическим давлением воды, задвижки на иловой трубе следует открывать не полностью и постепенно, чтобы не допустить прорыва воды и повышения влажности осадка. Влажность выгружаемого осадка при нормальной эксплуатации первичных отстойников не должна превышать 95%.

Длительность отстаивания определяют делением рабочего объема отстойника на среднечасовой расход поступающей в отстойник воды. Фактическая длительность отстаивания всегда меньше расчетной и может быть определена введением в отстойник какого-либо красителя (например, флуоресцина). По полученной кривой отклика определяют действительное время отстаивания.

Одним из основных условий нормальной работы отстойников является равномерное распределение сточной воды между ними. Лотки, подводящие воду к отстойникам, и сборные лотки регулярно очищают от отложенного осадка и отбросов. Не реже одного раза в 2 года отстойники с механическим оборудованием опорожняют для осмотра, чистки и ремонта.

Интенсифицировать работу первичных отстойников можно несколькими путями, одним из них является специальная подготовка сточных вод перед отстаиванием, позволяющая задерживать больше взвешенных веществ за счет коагуляции мелких фракций взвеси. В качестве коагулянта можно использовать избыточный активный ил в количестве не более 30–50 мг/л по сухому веществу. Эффект достигается вследствие сорбции мелкой взвеси на хлопках активного ила. Добавка активного ила в больших количествах может привести к выносу его из первичного отстойника и значительному увеличению влажности осадка. Повысить эффективность работы первичных отстойников можно также преаэрацией воды, т.е. продувкой ее сжатым воздухом перед отстаиванием.

При проектировании очистных сооружений следует предпочесть наиболее совершенные и эффективно работающие конструкции. Так, лучшие результаты по седиментации можно ожидать при применении полочных отстойников и радиальных с вращающимся сборно-распределительным устройством.

10.1.2. Двухъярусные отстойники. В двухъярусных отстойниках осуществ-

вляются два процесса — оттаивание сточной воды и сбраживание и уплотнение осадка. Поскольку сбраживание осадка происходит при температуре, равной температуре сточной воды, процесс протекает медленно, особенно зимой. Для ускорения сбраживания увеличивают объем иловой камеры. Если в двухъярусные отстойники поступает избыточный активный ил, объем иловых камер также нужно увеличивать в соответствии с расчетом.

Сброженный осадок влажностью 88—90% выгружают из двухъярусных отстойников каждые 8—10 дней. Процесс оттаивания в проточных каналах отстойников происходит так же, как в горизонтальных отстойниках. Однако вследствие того, что часть газов брожения и иловая жидкость попадают в каналы с осветленной сточной водой, из двухъярусных отстойников выносятся большое количество взвешенных веществ.

Техническая эксплуатация двухъярусных отстойников предусматривает следующее:

- равномерное распределение сточной воды по отдельным отстойникам;
- своевременное переключение (изменение) направления движения воды в лотках, чтобы исключить переполнение осадком (при наличии спаренных двухъярусных отстойников);

- своевременное удаление образующейся в паузах отстойников корки (толщина ее не должна превышать 5—6 см);

- регулярную выгрузку зрелого осадка (летом 3—4 раза в месяц, а зимой 1 раз в месяц);

- утепление отстойников зимой съемными деревянными щитами;

- очистку лотков (желобов) от прилипших к ним крупных отбросов;

- контроль количества поступающей сточной воды, ее температуры и эффекта задерживания взвешенных веществ;

- контроль количества и температуры осадка, его влажности, зольности, химических показателей (щелочности и содержания жирных кислот).

Нормальная эксплуатация двухъярусных отстойников может начаться лишь с того момента, когда в иловой камере будет находиться достаточное количество хорошо инфицированного анаэробными микроорганизмами осадка. Поэтому для ускорения процесса в иловую камеру загружают зрелый осадок (15—20% объема иловой камеры) из уже работающих двухъярусных отстойников. Он должен иметь щелочную реакцию, слабый запах разогретого асфальта и черный цвет. Зрелый осадок надо загружать осторожно, опуская его на дно камеры через пространство между осадочными желобами, а не выливая в них.

После загрузки зрелого осадка через отстойные желоба пропускают сточную воду в иловой камере до тех пор, пока объем свежего осадка не станет равным ранее загруженному. Этот объем определяют по количеству прошедшей через отстойник сточной воды и по разности концентраций поступивших и вынесенных взвешенных веществ. Смесь зрелого и свежего осадков должна находиться в иловой камере до полного созревания прибавленного осадка, что устанавливают систематическим отбором проб осадка сверху. Затем в иловую камеру снова прибавляют свежий осадок (уже в количестве, равном количеству полученной смеси зрелого осадка и ранее добавленного свежего осадка) и ожидают, когда вся масса полностью созреет. Полное созревание характеризуется окончанием кислого брожения, наличием щелочной реакции, исчезновением запаха сероводорода и специфическим внешним видом. Этот процесс повторяется до тех пор, пока не накопится расчетный объем осадка. В некоторых случаях созревание осадка в иловой камере можно ускорить прибавлением к нему гашеной извести. Известь прибавляют небольшими порциями с таким расчетом, чтобы значение pH не превышало 8.

При невозможности предварительного инфицирования ила зрелым осадком длительность созревания увеличивается до 6—12 мес. в зависимости от температуры сточных вод. Поэтому начало работы по запуску двухъярусного отстойника рекомендуется начать с весны или начала лета. Контроль работы двухъярусного отстойника в пусковой период сводится к следующему:

- ежедневному определению температуры поступающей сточной воды в иловой камере;

- измерению каждые 5 сут уровня (объема) осадка в иловой камере;

- взятию через каждые 10 сут пробы осадка, в которой определяют щелочность, влажность, рН, внешний вид и запах осадка;

- определению суточного количества обработанной сточной воды и количества задерживаемых отстойниками взвешенных веществ.

Осадок из двухъярусного отстойника выгружают, не прекращая пропуск через него сточной воды. Выгрузку производят осторожно, постепенно открывая задвижку иловой трубы и наблюдая за густотой выходящего осадка. При появлении воды задвижку закрывают. Чтобы не выпустить жидкий осадок и предотвратить прорыв воды, осадок выпускают не сразу, а порциями с интервалами 30—40 мин. Перед наступлением зимы объем выгружаемого осадка увеличивают с тем, чтобы в иловой камере оставалось не менее 20% хорошо сброженного осадка (от общего объема). В процессе эксплуатации необходимо следить за тем, чтобы иловый стояк не зарастал и не забивался, а также чтобы уровень осадка в камере был не менее чем на 0,5 м ниже щелей осадочных желобов. Внешний признак недопустимо высокого уровня осадка — появление пузырьков газа в осадочных желобах над щелью. На поверхности пазух, предназначенных для выхода газов брожения, образуется пена, смешанная с частицами всплывшего осадка, которая постепенно превращается в плавающую корку. Нельзя допустить, чтобы толщина корки превышала 5 см. Корку разрушают, смачивая и разбивая ее струей воды из брандспойта от насоса, забирающего сточную воду, или вручную лопатами либо граблями, при этом куски разбитой корки погружают в иловую жидкость.

Нельзя допускать кислого брожения, которое характеризуется обильным образованием пены, вспучиванием корки и появлением запаха сероводорода.

10.1.3. Аэротенки. При очистке сточных вод химико-фармацевтических предприятий находят применение два типа аэротенков: смесители и вытеснители, часть объема которых отводится под регенераторы. В некоторых действующих схемах очистки эти два типа используются совместно: первые один или два коридора отводятся под регенератор, затем один или два коридора — смесители, а оставшиеся коридоры работают как вытеснители. Опыт эксплуатации показал, что при трех- или четырехкоридорном аэротенке такая схема наиболее эффективна. Опыт также показал целесообразность двухступенчатой схемы работы аэротенков.

Для насыщения сточных вод кислородом в практике используют систему пневматической аэрации с подачей воздуха через мелкопузырчатые аэраторы. Важное значение для нормальной работы аэротенка имеют тип и конструкция аэратора.

В качестве типовых решений применяют керамические фильтросные пластины, заделываемые в фильтросные каналы, которые расположены в днище аэротенка. Практика эксплуатации показала недостаточную надежность этой конструкции. В связи с большим требуемым расходом воздуха на окисление (до $40 \text{ м}^3/\text{м}^3$ стоков) и, соответственно, большой площадью

азраторов необходимо устанавливать большое число фильтросных пластин, заделка которых должна обеспечивать герметичность системы. На практике такая герметичность не может быть обеспечена в течение продолжительного периода эксплуатации азраторов. Периодически пористое тело пластины забивается, и она выдавливается из гнезда канала. При этом нарушается работа всей азрационной системы, что приводит к остановке азротенка и необходимости его опорожнения и вторичной заделки пластин. Более совершенна конструкция, при которой вместо фильтросных каналов и пластин по днищу азротенка укладывают плиты из керамических труб, соединенных между собой с помощью металлических тяжей и резиновых прокладок. Однако и в этом случае периодически нарушается герметизация в стыках фильтросных труб, которую можно устранить только после прекращения работы и опорожнения азротенка.

Указанные недостатки устранены в конструкции, предложенной на очистных сооружениях ПО "Олайнфарм" (ЛатССР). Суть предложения сводится к тому, что от воздушного коллектора, проложенного по верху азротенка, опущены стояки до днища, оканчивающиеся тройником, к которому с двух сторон крепятся азраторы в виде коротких труб — азраторов, заканчивающихся заглушками. Материалом труб могут служить прессованный картон на специальной пропитке, пористый полиэтилен и т.д. Стояк соединен с воздушным коллектором на шарнире и с помощью ручной лебедки при необходимости может быть легко поднят из воды для устранения неисправности. При такой конструкции ремонт системы азрации производят без прекращения работы азротенка. Система азрации приведенной конструкции осуществлена на практике, эксплуатируется с 1981 г. на ПО "Олайнфарм" и полностью оправдала себя. В результате процессов окисления органических веществ в азротенке происходит постоянное увеличение (прирост) активного ила, которое нарушает необходимое соотношение между массой активного ила и количеством поступающих загрязнений. Поэтому в процессе эксплуатации требуется постоянно выводить из азрационной системы излишки активного ила. Однако следует помнить, что слишком большое уменьшение концентрации ила может вызвать его перегрузку, в результате чего снизится активность ила, а следовательно, ухудшится качество очистки сточных вод. Одним из показателей состояния активного ила является иловый индекс. Оптимальное значение илового индекса для сточных вод химико-фармацевтических производств составляет 90—120 мл/г. Если иловый индекс больше указанного, активный ил занимает большой объем, становится легким, теряет хлопьевидную структуру, плохо оседает, не уплотняется и в большом количестве выносятся из вторичных отстойников, ухудшая эффективность работы очистных сооружений.

Для непрерывного протекания биохимического процесса в азротенки постоянно нужно подавать возвратный (циркуляционный) активный ил. Эта циркуляция обеспечивается перекачкой осажденного во вторичных отстойниках активного ила обратно в азротенки. Объем возвратного ила, удаляемого из вторичных отстойников, как правило, составляет 30—60% объема сточной воды и зависит от средней концентрации ила в азротенке, а также от илового индекса. Чем ниже концентрация ила и выше иловый индекс, тем больше объем возвратного ила. Эта зависимость выражается следующей формулой, предложенной Академией коммунального хозяйства им. К.Д. Панфилова:

$$R = \frac{100a_{cp}}{1000/J - a_{cp}},$$

где R — рециркуляционное отношение расхода возвратного ила к расходу поступающей сточной жидкости, %; d_{cp} — средняя доза ила в аэрационной системе, г/л; J — иловый индекс, мл/г.

Опыт эксплуатации очистных сооружений ряда предприятий химико-фармацевтической промышленности показывает, что рециркуляционное отношение расхода возвратного ила к расходу поступающей сточной жидкости может достигать 85%. Столь высокий процент рециркуляции, обуславливающий значительное увеличение затрат на очистку, объясняется прежде всего тем, что в сточных водах химико-фармацевтических производств могут содержаться трудноокисляемые химические вещества, а также вещества, подавляющие жизнедеятельность активного ила. В связи с этим в отдельные периоды иловый индекс может составлять около 200 см³/г, а концентрация ила в аэрационной системе не удерживается на уровне более 2 г/л.

Количество избыточного ила (прирост), которое необходимо выводить из аэрационной системы, предварительно можно быть определено расчетом в соответствии со СНиП II-32-74. В процессе эксплуатации аэрационной системы необходимо определить фактический прирост ила.

Перед пуском в эксплуатацию до заполнения водой аэротенки тщательно осматривают и проводят ревизию запорно-распределительной арматуры. Пусковые работы проводят только при наличии действующей контрольно-измерительной аппаратуры и приборов. Воздуховоды обязательно тщательно продувают в атмосферу. После продувки приступают к проверке равномерности выхода воздуха через аэраторы, для чего заполняют аэротенк чистой водой и включают воздух, постепенно увеличивая его подачу. Уровень воды в аэротенке должен находиться на 0,2–0,3 м выше поверхности аэраторов.

Только после окончания наладочных работ в аэротенках и вторичных отстойниках, когда уже включены системы циркуляции ила (насосы, эрлифты, трубопроводы) и воздухоудного хозяйства, можно приступать к работам по созданию аэробной микрофлоры — активного ила. Обычно активный ил выращивают в самом аэротенке в теплый период года. При этом сначала в течение 2–3 сут через аэротенк пропускают осветленную в первичном отстойнике сточную воду в небольшом количестве (40–50% расчетного), подвергая ее аэрации и добавляя в нее задержанные во вторичных отстойниках мелкие хлопья с коагулированной суспензией. Затем подачу воды в аэротенк прекращают, а его содержимое продолжают подвергать непрерывной аэрации, в результате которой происходит развитие микроорганизмов и нарастание массы ила.

Для питания микроорганизмов каждый день в течение 2–3 ч в аэротенк добавляют осветленную сточную воду, количество которой можно подсчитать исходя из массы ила в сооружении и концентрации органических веществ в поступающей сточной воде. Нагрузка на 1 г беззольного вещества ила по БПК₅ должна составлять не более 150–250 мг. За ходом образования и укрупнения хлопьев ила ведут постоянный контроль. Каждую смену или 2 раза в сутки в стеклянную мерную посуду берут воду из аэротенка, дают ей отстояться 30 мин, а затем определяют объем осевшего на дно ила. Когда объем ила достигнет 25–30% объема набранной смеси и ил будет представлять однородную суспензию быстроосаждающихся хлопьев, можно начинать эксплуатацию аэротенка, постепенно доводя нагрузки до расчетных.

При благоприятных условиях пусковой период заканчивается в течение 1–1,5 мес теплого периода года. Для ускорения процесса можно воспользоваться активным илом из аэротенков действующей станции, а также прудовым или речным илом, не загрязненным нефтепродуктами.

Для работы аэротенков важно, чтобы в смеси воды и ила содержалось достаточное количество растворенного кислорода. Для нормально работающей системы концентрация растворенного кислорода перед выходом смеси из аэротенка должна составлять не менее 3—4 мг/л.

Наибольшим недостатком при эксплуатации аэротенков очистных сооружений отрасли, резко нарушающим весь процесс очистки, является вспухание активного ила, характеризующееся повышенным значением илового индекса (более 150 мл/г). При вспухании ил становится мелким, иловая вода мутной, а вода после отстаивания во вторичных отстойниках не кажется "блестящей". Ранее было отмечено, что высокие значения илового индекса (150—200 мл/г и более), являющиеся результатом вспухания ила, в основном обусловлены содержанием в сточных водах химико-фармацевтических производств различных химических веществ, полупродуктов и следов готового лекарственного препарата, угнетающе действующих на активный ил. Ил может также вспухать из-за больших нагрузок по БПК, недостаточного периода регенерации, недостаточного количества воздуха, высокой или низкой температуры сточных вод.

Полное или частичное устранение вспухания ила может быть достигнуто увеличением объема регенерации ила, что позволит в течение определенного периода увеличить массу ила в системе и тем самым снизить нагрузку. Одновременно необходимо обеспечить подачу воздуха в зоны аэрации и регенерации равными долями независимо от принятого объема регенерации, с последующим уточнением. При этом следует иметь в виду, что применительно к сточным водам химико-фармацевтических производств объем регенерации может достигнуть 85% общего объема аэротенка.

Если после принятия соответствующих мер (изменение концентрации ила, нагрузки, количества воздуха и др.) ликвидировать вспухание ила не удается, рекомендуется на некоторое время повысить реакцию среды до 8,5—9,5. При таких значениях pH резко подавляется деятельность нитчатых бактерий и грибов. Во время ликвидации вспухания ила необходимо уменьшить выводимое из системы избыточное количество ила.

10.1.4. Вторичные отстойники. Эти отстойники, принимающие смесь очищенной воды и активного ила, завершают работу аэрационной системы. Эффективность работы отстойников зависит от равномерности нагрузки их по воде и от своевременного и равномерного удаления из них отстаивающегося ила.

Несвоевременное удаление активного ила приводит к его загниванию и ухудшению качества очищенной воды вследствие увеличения выноса взвешенных веществ. В процессе эксплуатации вторичных отстойников обслуживающий персонал должен систематически следить за уровнем активного ила в отстойниках и не допускать его превышения над максимально допустимым во избежание повышенного выноса ила. Опыт действующих станций аэрации показывает, что уровень ила для вторичных отстойников радиального типа должен находиться на расстоянии 0,5—0,7 м от дна отстойника, а для вертикальных отстойников — на 0,7—1,0 м ниже отражательного щита центральной трубы. Возвратный ил выпускают из отстойника в камеру со свободным изливом, чтобы обеспечивался визуальный контроль за концентрацией и качеством выгружаемого ила. Важным фактором, влияющим на работу вторичных отстойников, является время пребывания в нем активного ила, которое не должно составлять более 4 ч. При большем времени пребывания ил теряет свои необходимые качества и может погибнуть.

10.1.5. Сооружения для доочистки сточных вод. Доочистку сточных вод (глубокую очистку) применяют в тех случаях, когда принятая схема не обес-

печивает необходимого качества воды. При обработке воды на сооружениях доочистки из нее дополнительно удаляют взвешенные и органические вещества, оцениваемые значениями ХПК и БПК, и снижают содержание азота, фосфора и других загрязнений, которые не представляется возможным извлечь на сооружениях биологической очистки. В результате доочистки сточная вода может стать пригодной не только для сброса в водоем, когда в связи с его малой мощностью не учитывается его разбавляющий фактор, но и для использования в промышленном водоснабжении для технических целей.

Доочистку сточных вод можно осуществлять различными методами: фильтрованием, окислением в биологических прудах или прудах с высшей водной растительностью, флотацией, сорбцией и т.д. Рассмотрим только метод фильтрования, который в настоящее время используют в отрасли в качестве доочистки.

Схема доочистки следующая: прошедшая биологическую очистку вода подается на барабанные сетки, которые предохраняют фильтры от попадания в них грубых примесей и активного ила или биопленки, выносимых из вторичных отстойников или контактных резервуаров, а затем вода проходит фильтры с зернистой загрузкой. Целесообразно применять двухслойную загрузку, состоящую из слоя кварцевого песка толщиной 800—1 000 мм и крупностью 1,2—2,0 мм и слоя дробленого антрацита толщиной 400—500 мм и крупностью 1,0—25 мм.

Заиленную сетку выключают из работы и промывают фильтрованной водой через специальное промывное устройство, расположенное над уровнем воды в барабане. Загрязненная после промывки вода направляется насосом в первичные отстойники для очистки.

При фильтровании через фильтры взвешенные вещества, состоящие почти полностью из активного ила, коагулируют верхние слои загрузки, в связи с чем потери напора в этих фильтрах возрастают со временем. Опыт работы фильтров в химической промышленности показал, что, попадая в более глубокие слои загрузки, активный ил начинает развиваться, что создает дополнительные потери напора при фильтрации воды. Накопившиеся в загрузке фильтра микроорганизмы осуществляют биологический процесс окисления оставшихся после биологической очистки органических веществ, поэтому при фильтровании воды значительная часть содержащегося в ней кислорода теряется. Чтобы удалить накопившиеся в загрузочном материале частицы активного ила, одной промывки, осуществляемой снизу вверх (как для водопроводных фильтров), недостаточно. Необходимо периодически промывать загрузку хлорной водой при времени контакта около 20 ч и концентрации хлора до 200 мг/л, с последующей обычной промывкой. Это необходимо в тех случаях, когда по схеме очистных сооружений предусматривается расположение установок для доочистки после вторичных отстойников. Если же установка для доочистки размещена после обеззараживания воды хлором, периодическая промывка фильтров хлорной водой не требуется.

Практика эксплуатации показала, что на сооружениях нужно устанавливать не менее четырех фильтров. После фильтрации воду необходимо окончательно хлорировать. Фильтрация биологически очищенных сточных вод дает возможность получать воду со значением БПК₅, равным 2,5—5,0 мг/л, и концентрацией взвешенных веществ 1—5 мг/л. При этом практически не изменяются такие показатели, как содержание в воде хлоридов и сульфатов, мало изменяется содержание различных форм фосфора и азота.

Загрузку двухслойных фильтров с верхним слоем из антрацитовой крошки осуществляют в два этапа. Вначале фильтр загружают только гравием и песком. Затем его пускают в работу и эксплуатируют в течение меся-

ца для разделения песка по фракциям (во время промывок). За это время с поверхности фильтра удаляют мелкий песок (диаметром менее 0,5 мм). После того как мелкий песок будет полностью удален, что определяют ситовым анализом его верхнего слоя, можно приступать к загрузке фильтра антрацитовой крошкой. Для этого фильтр на 0,5 м выше поверхности песка заливают водой, засыпают в него крошку и выдерживают последнюю в зали- том состоянии в течение 3—4 ч для выделения воздуха из пор антрацита. За- тем загрузку отмывают от угольной пыли, постепенно наращивая интенсив- ность промывки. Первые 2—3 мин интенсивность должна быть не более 7—8 л/(с · м²). После окончания загрузки фильтры промывают с расчетной интенсивностью, с поверхности песка или антрацита удаляют грязь, мелкие фракции и, если необходимо, производят догрузку. Затем устанавливают окончательный гранулометрический состав всего фильтрующего материала. Перед заполнением фильтров водой проверяют всю запорно-регулирующую арматуру и переливную систему трубопроводов. Фильтры заполняют снизу через промывную систему, так как при заполнении сухого фильтра через верх загрузка будет размываться.

Фильтрацию заканчивают либо при проскоке загрязнений в фильтрат, либо после достижения предельных потерь напора в загрузочном материале. Оптимальную интенсивность промывки устанавливают опытным путем во время технологической наладки фильтров. Поверхность фильтрующего материала, расширившегося во время промывки, должна находиться на 20—25 см ниже кромки сборных желобов. Продолжительность промывки уста- навливают по прозрачности промывной воды, поступающей в желоба. После промывки проверяют горизонтальность поверхности загрузочного матери- ала. При периодической обработке загрузочного материала хлорной водой (с концентрацией хлора 170—200 мг/л) длительность контакта должна сос- тавлять 20—24 ч. За это время находившийся в загрузке активный ил отми- рает и затем удаляется вместе с хлорной водой. После слива раствора фильтр дважды промывают чистой водой.

10.1.6. Сооружения для обезвоживания осадка. При очистке сточных вод химико-фармацевтических производств образуются осадок и избыточный активный ил, методы обезвоживания которых достаточно подробно рас- смотрены в гл. 9. В настоящем разделе приведены рекомендации по эксплуа- тации некоторых сооружений по обезвоживанию.

10.1.6.1. Иловые площадки. Наиболее простым способом удаления вла- ги из осадка с последующим его подсушиванием является жидкий розлив по спланированным участкам. Технология эксплуатации иловых площадок заключается в равномерном периодическом напуске сброженного или ста- билизированного осадка на рабочую площадь, своевременном отводе ило- вой воды с площадок и ускорении подсушки осадков разрушением обра- зующейся на их поверхности корки.

Практика эксплуатации иловых площадок показала, что зимой после промораживания и последующего оттаивания изменяется физико-хими- ческая структура осадка, в результате чего значительно уменьшается удель- ное сопротивление его фильтрации, он быстрее отдает воду и лучше сохнет. Летом иловые площадки подсыхают в основном за счет испарения, филь- трация иловой воды даже через хорошее фильтрующее основание обеспе- чивается только в начальный период эксплуатации.

Нагрузка осадка на иловые площадки уточняется в процессе эксплуа- тации с учетом местных климатических условий. Для иловых площадок с фильтрующим основанием или дренажными устройствами слой одновре-

менного напуска осадка на карту принимается равным 20–30 см для лета и на 0,1 м ниже высоты ограждающих валиков и дорог для зимы. Последующие напуски производятся после того, как влажность выпущенного ранее осадка достигла около 80%, а на его поверхности образовались сквозные трещины шириной 2–3 см, через которые фильтруется вода из вновь напускаемого слоя осадка, также высушиваемого до 80%-ной влажности. Подсушенный осадок убирают после того, как толщина общего слоя высушенного осадка будет равна 20–25 см. Для намораживания осадка зимой используют не более 75% площади иловых площадок, на остальную площадь напускают осадок лишь во время весеннего таяния. Дренажная и иловая вода иловых площадок содержит много загрязнений (0,2–1,5 г/л взвешенных веществ и 0,6–0,8 г/л БПК₅), поэтому ее направляют обратно в начало очистных сооружений.

10.16.2. Вакуум-фильтры. Одним из основных условий эффективности обезвоживания осадка на вакуум-фильтрах является предварительная специальная его подготовка — концентрирование и кондиционирование. Концентрирование производится в илоуплотнителях, где осадок должен находиться в течение 10–16 ч. Уровень осадка в уплотнителе расположен на 1 м ниже зеркала воды. Степень уплотнения осадка зависит от количества сухого вещества осадка в единице объема, т.е. от влажности, и при вакуум-фильтрации должна составлять 94–96%.

Перед направлением уплотненного осадка на обезвоживание его смешивают с раствором коагулянтов, после чего значительно улучшаются его фильтрационные свойства и водоотдача. В качестве коагулянтов используют хлорное железо, сернокислый алюминий и другие реагенты. Их вводят в уплотненный осадок без добавок или в сочетании с известью. Дозы реагентов устанавливают опытным путем по кривым изменения удельного сопротивления осадка.

В процессе наладки барабанного вакуум-фильтра марки БОУ должны быть установлены технические параметры его работы. Оптимальную величину вакуума определяют опытным путем, но обычно она находится в диапазоне 200–500 мм рт.ст. Для нормальной работы вакуум-фильтров удельное сопротивление осадков после коагуляции должно составлять не более $60 \cdot 10^{10}$ см/г. Время одного оборота барабана зависит от типа осадка и величины вакуума, при котором происходит обезвоживание. И.С. Туровским предложена зависимость времени оборота барабана от удельного сопротивления осадка, показанная в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Удельное сопротивление осадка $r \cdot 10^{10}$, см/г	5–10	10–20	20–30	30–40	40–60
Время оборота барабана, мин	2–2,5	2,5–3	3–4	4–5,5	6,5–8

Необходимо учесть, что при увеличении скорости оборота барабана и, соответственно, производительности вакуум-фильтра возрастает влажность кека, что приводит к быстрому заиливанию фильтровальной ткани.

Глубина погружения барабана должна составлять 30–40% его диаметра. В качестве фильтровальной ткани рекомендуется применять капроновые ткани артикулов 1520, 1528, 5623, 5627. Перед установкой на барабан новую фильтровальную ткань замачивают в горячей воде и подсушивают. Затем сшивают полотнище из отдельных полос ткани по размеру барабана.

После накладывания ткани на барабан концы ее сшивают внахлестку по ходу барабана. В процессе укладки ткани на барабан в каждый его продольный паз забивают резиновый шнур, который служит для уплотнения и укреплении ткани на поверхности барабана, а также для изоляции секций барабана друг от друга. В крайних кольцевых пазах поверх ткани барабан туго обматывают проволокой диаметром 3—4 мм, накладываемой в несколько рядов.

Перед пуском вакуум-фильтра закрывают все подающие задвижки и на 20—30 мин пускают его вхолостую. Пуск в работу производят в следующем порядке: открывают подачу скоагулированного осадка в корыто и включают привод барабана; открывают задвижку на вакуумной линии между ресивером и вакуум-насосом, а также на линии подачи сжатого воздуха, включают вакуум-насос и воздуходувку. Когда осадок в корыте достигнет уровня переливной трубы, открывают задвижки на вакуумной линии между ресиверами и вакуум-фильтром; после того как толщина слоя кека на фильтре составит 5—20 мм, включают насос по перекачке фильтра и производят регулировку подачи осадка в корыто, откачки фильтра из ресивера, величины вакуума и давления воздуха.

Остановку вакуум-фильтров производят в следующем порядке: прекращают подачу осадка в корыто, отфильтровывают часть осадка, налипающего на барабан, а остальную часть выпускают из корыта. Далее промывают фильтровальную ткань и корыто водой, под действием вакуума просушивают фильтровальную ткань, включают привод барабана и закрывают задвижки на вакуумной линии и линии сжатого воздуха; выключают вакуум-насосы, воздуходувки и насосы, перекачивающие фильтрат.

В процессе работы барабанных вакуум-фильтров надо обращать особое внимание на состояние и степень загрязненности фильтровальной ткани. Когда скорость фильтрования уменьшится настолько, что дальнейшая работа вакуум-фильтра станет неэффективной, фильтрование прекращают и производят регенерацию ткани. Регенерацию выполняют различными способами: механической очисткой специальными щетками с одновременной промывкой водой, в которую добавляют моющие средства, и продувкой воздухом; промывкой 10%-ным раствором ингибированной соляной кислоты; комбинацией этих способов. Периодически, через 1200—1800 ч работы, ткань заменяют.

10.2. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

10.2.1. Усреднение сточных вод. Контроль за работой усреднителя обеспечивается определением значения pH среды, перманганатной окисляемости и содержания какого-либо специфического загрязнения. Целесообразно использование экспресс-методов. Наиболее надежно контроль достигается путем применения автоматических измерителей качества сточных вод. По графику отбора среднесуточных проб один раз в 10 сут производится полный анализ воды на входе и выходе из усреднителя, позволяющий оценить возможность и эффективность его работы.

10.2.2. Нейтрализация сточных вод. Процесс нейтрализации контролируется путем регистрации pH среды после усреднителя и на выходе из нейтрализатора (камеры реакции или первичных отстойников). Системы автоматизации позволяют связать регистрацию pH с работой дозирующих устройств, чем обеспечивается стабильность системы.

10.2.3. Первичные отстойники. Технический контроль работы первичных

отстойников включает оценку изменений в составе воды, происходящих в результате осаждения, а также определение количества и качества образующегося осадка. Данные по эффективности отстаивания взвеси или шлама — продукта нейтрализации — получают из результатов общего санитарно-химического анализа воды, выполняемого один раз в 10 сут. Качество осадка контролируют по влажности, зольности, содержанию минеральных примесей и при необходимости — по содержанию специфических для данного предприятия веществ.

10.2.4. Аэротенки. Оперативный контроль за работой аэротенков ведут путем систематически выполняемых определений концентрации растворенного кислорода, минимальное количество которого в любом месте аэрационной системы не должно быть ниже 1–2 мг/л, дозы ила и его гидробиологического состава. Определения выполняют раздельно для собственно аэротенка и регенератора 1–3 раза в декаду из средней пробы высушенного ила, а все подсчеты ведут по отношению к 1 г беззольного вещества. Поскольку в иле присутствует большое количество минеральных примесей, органическая (беззольная) часть ила точнее характеризует количество биомассы. Однако при одинаковой биомассе активный ил может иметь весьма различные количества бактериальных клеток и простейших и их биохимическую активность. Данный показатель косвенно контролируется с помощью микроскопических исследований. Микроскопическая оценка ила выполняется по тому же графику, что и определение дозы ила. Седиментационные свойства ила оценивают иловым индексом. Иловый индекс определяют один раз в декаду. Ил с индексом 80–100 мл/г хорошо оседает и не образует мелкой мути в отстоянной воде. При иловом индексе более 150 мл/г говорят о „вспухании“ ила. Вспухший ил, обладая развитой поверхностью, хорошо очищает воду, но с большим трудом отделяется от нее, что вызывает осложнения в работе вторичных отстойников.

Полный санитарно-химический анализ воды проводят один раз в 10 сут до и после ее пребывания в аэротенке. Запись замеров количеств поступающей воды и подаваемого на очистку воздуха производится непрерывно с помощью автоматических измерителей расхода.

К технологическим параметрам, характеризующим работу аэротенка, кроме уже упомянутых относятся окислительная мощность аэротенка и ила, возраст ила, расход воздуха на 1 м³ очищенной воды и на 1 кг сниженной БПК, прирост ила, затраты электроэнергии.

Если нагрузка *H* характеризует количество поданных загрязнений, отнесенных к единице беззольного вещества ила, то окислительная мощность оценивается снижением количества загрязнений, т.е. произведением эффективности очистки воды по БПК в долях единицы на нагрузку.

Окислительная мощность, отнесенная к 1 ч, есть средняя скорость окисления загрязнения активным илом. Эта величина — основная расчетная характеристика аэротенка. При очистке сточных вод производства химико-фармацевтических препаратов скорость окисления загрязнения может варьироваться в диапазоне 2,5–35 мг БПК₅/(гбв · ч). Контроль работы аэротенка ведется также по таким показателям, как возраст и прирост ила.

Для оценки биохимической активности ила в настоящее время применяют метод определения его дегидрогеназной активности. Процесс биохимического окисления органических веществ при очистке сточных вод начинается с расщепления органического вещества с выделением водорода, который передается по цепи ферментов — дегидрогеназ. Количественное определение этих ферментов позволяет судить о напряженности окислительного процесса. Введение в практику технологического контроля этого по-

казателя полезно в особенности потому, что он дает возможность получить менее чем за 1 ч характеристику состояния ила.

10.2.5. Вторичные отстойники. Контроль работы вторичных отстойников в основном производят так же, как и для первичных отстойников. В частности, устанавливают продолжительность отстаивания смеси и вынос ила с очищенной водой, количество и качество откачиваемого ила (по концентрации сухого вещества). Однако процесс отстаивания в первичных и вторичных отстойниках протекают различно, что обусловлено, во-первых, концентрацией взвешенных веществ, в отстаиваемой смеси, во-вторых, их химическим составом и различной способностью к флокуляции и седиментации. Степень уплотнения взвешенных веществ в первичных и вторичных отстойниках также различна. Влажность осадка из первичных отстойников составляет 91–95%, а влажность активного ила из вторичных отстойников равна 99,7–99,4% (концентрация откачиваемого ила 3–6 г/л).

10.2.6. Доочистка сточных вод. Доочистку производят на барабанных сетках с размером ячеек 0,5 x 0,5 мм и на фильтрах с двухслойной загрузкой из песка и антрацита. При фильтрации задерживается активный ил, вынесенный с очищенной водой из вторичных отстойников. При удалении фильтрацией частиц активного ила фиксируется снижение БПК воды за счет изъятия части ила, а также за счет некоторого окисления оставшихся в воде неокислившихся органических веществ активным илом в теле загрузки фильтра, о чем свидетельствует неперемное падение концентрации растворенного кислорода в воде фильтра. Если материал загрузки интенсивно отмывать от ила, усиливая этот процесс хлорированием, что ведет к гибели живых клеток, то качество фильтрата, естественно, станет хуже, но возрастает скорость фильтрации.

Контроль работы фильтров сводится к учету скорости фильтрации, продолжительности фильтроцикла и расхода воды на промывку фильтрата при заданной интенсивности. Качество воды до и после ее обработки оценивают по обычным принятым на очистных сооружениях санитарно-химическим показателям, которые могут изменяться в процессе фильтрации.

10.2.7. Обезвоживание осадка. Этот процесс в естественных условиях может быть осуществлен на иловых площадках. Контроль за процессом обезвоживания проводят путем определения влажности проб осадков, отобранных в нескольких местах площадки и с разных глубин. Кроме того, осуществляется санитарно-бактериологический контроль, который включает определение бактерий кишечной палочки и яиц гельминтов. Осадок вывозят на сельскохозяйственные поля только после получения удовлетворительного результата санитарного анализа, а также анализа на специфические вещества, которые могут содержаться в осадке (соединения циана, ртути и т.д.). Периодически контролируется также качество иловой воды, передаваемой на повторную обработку. Если эта вода попадает в начало очистных сооружений, то проводят ее анализ так же, как и воды, поступающей на сооружения с объекта канализования.

Обезвоживание на вакуум-фильтрах включает кроме основной операции ряд предварительных: промывку (для сброженных осадков), уплотнение, смешение с реагентами. За всеми операциями осуществляется контроль. Определение влажности уплотненного осадка проводят 1–3 раза в сутки с целью более точного дозирования реагентов. Качество растворов реагентов контролируют до концентрации в них активного хлора. Тщательный контроль растворов реагентов необходим, так как их избыток не улучшает фильтруемости осадка, а перерасход дефицитных реагентов

влечет за собой необоснованное удорожание стоимости эксплуатации. Работу вакуум-фильтра оценивают производительностью аппарата, т.е. количеством осадка по сухому веществу, снятым с 1 м² поверхности фильтра за 1 ч, для чего периодически определяют влажность кека. Качество и количество фильтрата учитывают с целью более полного анализа работы отстойника-уплотнителя.

10.3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

Значительная часть содержащихся в сточных водах загрязнений представляет собой горючие или сильнодействующие ядовитые вещества, которые могут переходить из воды в воздух, загрязняя атмосферу, а в некоторых случаях создавать концентрации, близкие к взрывоопасным. Вредное воздействие химических веществ на организм человека усиливается в связи с их многообразием, а также с возможностью их комбинированного действия.

Основной причиной загрязнения воздушной среды является расположение очистных сооружений (усреднителей, отстойников, аэротенков и пр.) на открытой площадке. Эти сооружения имеют большую площадь зеркала воды и, следовательно, большую площадь контакта с воздухом атмосферы. Выделение веществ в атмосферу в значительной степени интенсифицируется вследствие пневматического перемешивания сточных вод. Большие площади выделения загрязнений, значительный объем загрязненных выбросов и многообразие содержащихся в них химических веществ в малых концентрациях не позволяют организовать сбор, очистку и отвод этих загрязненных выбросов с приемлемыми затратами. Поэтому обеспечение безопасности проведения работ по эксплуатации очистных сооружений основано на строгом соблюдении технологического регламента и производственных инструкций, а также на применении индивидуальных средств защиты.

На площадке очистных сооружений необходимо соблюдать следующие правила:

- допускать рабочих к выполнению работ можно только после соответствующего обучения и инструктажа;

- рабочие должны работать в спецодежде;

- запрещается использовать на площадке открытый огонь;

- в помещении насосных станций, перекачивающих биологически неочищенные сточные воды, в зоне усреднителей, первичных отстойников и аэротенков допускается работать только неискрящим омедненным инструментом;

- все электрифицированное оборудование, установленное на линии сточных вод до их поступления в аэротенки, должно быть во взрывобезопасном исполнении;

- необходимо регулярно проверять исправность заземления оборудования;

- в помещении насосных станций по перекачке неочищенных производственных сточных вод должно быть предусмотрено устройство систем аварийной вентиляции.

11. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ И СХЕМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ И ЛИКВИДАЦИИ НЕУТИЛИЗИРУЕМЫХ ОТХОДОВ

Оценку различных методов и схем проводят с учетом задач по охране водных ресурсов от загрязнения и рациональному использованию воды. При этом наибольшее внимание на предприятиях по производству химико-фармацевтических препаратов уделяют решению вопросов охраны окружающей среды за счет совершенствования технологических процессов, извлечения ценных веществ, утилизации производственных отходов, регенерации растворителей из сточных вод, маточных растворов и кубовых остатков.

В ряде случаев затраты на совершенствование технологических процессов с целью снижения объема образующихся отходов могут быть сопоставимы с затратами на их очистку и обезвреживание. Совершенствование технологии может позволить снижать объем загрязнений в сточных водах и одновременно улучшать экономические показатели основного производства и очистных систем за счет снижения расходов энергоресурсов, использования производственных отходов в качестве вторичных материальных ресурсов, замены сырья на менее токсичное и др. Данный фактор должен учитываться при определении экономических показателей системы в целом.

В основу выбора оптимального решения с помощью технико-экономических расчетов положена народнохозяйственная оценка эффективности каждого решения.

Экономическая эффективность малоотходной технологии определяется методом сравнительной оценки. В качестве критерия оптимальности приняты минимальные расчетные затраты на мероприятия, обеспечивающие охрану окружающей среды в соответствии с действующим законодательством.

В общем виде экономическая эффективность принимаемых природоохранных мероприятий \mathcal{E} складывается из эффекта от совершенствования технологического процесса \mathcal{E}_1 , обеспечивающего снижение удельного количества отходов, эффекта от утилизации отходов производства \mathcal{E}_2 и эффекта от рационального использования воды \mathcal{E}_3 :

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3.$$

Сравнительный экономический эффект определяют на основе следующих показателей:

капитальные вложения (единовременные затраты) — затраты на основные фонды (здания, сооружения и оборудование);

годовые эксплуатационные затраты (текущие затраты).

Для расчетов сравнительной экономической эффективности применяют показатель приведенных затрат Π , представляющий собой сумму текущих C и единовременных K затрат с учетом установленного коэффициента экономической эффективности капитальных вложений E_H (на одиннадцатую пятилетку E_H принят равным 0,15):

$$\Pi_i = C_i + E_H K_i.$$

Показатели C и K могут быть рассчитаны как в виде полной суммы капитальных вложений и эксплуатационных затрат, так и в виде удельных

величин, рассчитанных на 1 м³ очищаемых сточных вод, 1 т осадка по сухому веществу и т.д.

При определении годового экономического эффекта должна быть обеспечена сопоставимость сравниваемых вариантов принимаемого решения и аналога.

Разность приведенных затрат по вариантам Π_1 и Π_2 равна годовому экономическому эффекту \mathcal{E} .

При утилизации отходов производства необходимо учитывать не только связанные с этим затраты, но и возможный экономический эффект от реализации полученных вторичных материальных ресурсов (ВМР). В этом случае эффективность очистки сточных вод в сочетании с получением из них ВМР определяется по формуле

$$\mathcal{E}_y = (\Pi_1 + \Pi_3) - (\Pi_2 + \Pi_4),$$

где \mathcal{E}_y — экономический эффект от очистки сточных вод в сочетании с утилизацией из них ВМР; Π_1 — приведенные затраты на очистку сточных вод, если из них не получают ВМР; Π_2 — приведенные затраты на очистку сточных вод, если из них получают ВМР; Π_3 — приведенные затраты для производства продуктов (ВМР), аналогичных получаемым из сточных вод. При отсутствии данных для определения приведенных затрат допускается принимать стоимость продукта (ВМР) в соответствии с его ценой по прейскуранту с учетом получаемого количества; Π_4 — приведенные затраты на утилизацию ВМР из сточных вод.

В связи со значительными приведенными затратами на очистку сточных вод в отрасли сокращение объема или степени загрязненности стоков способствует снижению общих расходов на очистку. При этом экономический эффект при снижении степени загрязненности стоков вычисляется по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{загр}} = Q(\Pi_1 - \Pi_2),$$

а при снижении расхода сточных вод — по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{расх}} = \Pi(Q_1 - Q_2),$$

где Q и Π — соответственно расходы сточных вод и приведенные стоимости для сравниваемых систем.

Для укрупненных расчетов в табл.11.1 и 11.2 даны значения приведенной стоимости и удельных капитальных затрат по сооружениям биологической очистки и установкам термической обработки сточных вод производства химико-фармацевтических препаратов.

Капитальные вложения на строительство зданий и сооружений систем очистки, уничтожения и переработки производственных сточных вод определяют по укрупненным показателям сметной стоимости, проектным материалам и данным учета основных фондов. Для расчета капитальных затрат на строительство зданий и сооружений могут быть использованы сборники укрупненных сметных норм (цен) на здания и сооружения водоснабжения и канализации.

При определении эксплуатационных расходов по системам очистки, уничтожения и переработки стоков все текущие расходы рекомендуется группировать по следующим статьям затрат: материалы (реагенты и др.); энергоресурсы (электроэнергия, тепло, холод, вода и др.); амортизация основных

Таблица 11.1

Исходное значение БПК _{полн} стоков, мг/л	Удельные показатели, руб/м ³ , стоков	
	приведенная стоимость очистки	удельные капитальные затраты
2500	0,47	2,04
2350	0,46	1,95
2200	0,45	1,80
1850	0,41	1,66
1200	0,33	1,18
800	0,30	0,85
500	0,27	0,58

Примечание. Производительность сооружений — 5000 м³/сут, БПК_{полн} очищенных стоков — 25 мг/л.

Таблица 11.2

Производительность установки термической обработки, м ³ /сут	Удельные показатели, руб/м ³ , стоков	
	приведенная стоимость обработки	удельные капитальные затраты
25	22,4	49,3
50	22,0	46,6
100	19,5	30,1
150	18,3	21,9
200	17,7	17,8
300	17,0	13,7
400	16,7	11,6

фондов, текущий ремонт основных фондов, заработная плата с различными начислениями, прочие расходы.

Ниже рассмотрены некоторые примеры реализации технико-экономических расчетов различных методов и схем.

11.1 СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ЧАСТИЧНОЙ УТИЛИЗАЦИЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Изъятие различных растворителей из сточных вод химико-фармацевтических производств приводит к снижению расходных коэффициентов по сырью и одновременно значительно снижает загрязненность сточных вод. Рассмотрим на конкретном примере одного из предприятий влияние извлечения из сточных вод и утилизации растворителей на технико-экономические показатели системы очистки сточных вод. За аналог принято предприятие, на котором в сутки образуется 5 000 м³ производственных сточных вод с БПК_{полн} = 2 500 мг/л.

На предприятии отсутствует система регенерации растворителей бутанола и изопропанола из маточных растворов, образующихся в технологических процессах, и из сточных вод предприятия в целом. В результате около 1300 т бутанола и 900 т изопропанола в год сбрасывается в производственные сточные воды, в составе которых эти растворители поступают на очистные сооружения, где окисляются, образуя осадок.

Специфика технологии производства химико-фармацевтических препаратов вследствие технической сложности и экономической нецелесообразности в основном не позволяет полностью извлекать растворители, поступающие в сточные воды. Имеющийся производственный опыт подтверждает, что из общего расхода растворителей только около 70% может быть извлечено известными рекуперативными методами.

В основном регенерируются растворители из маточных растворов, содержащих большее количество растворителей, и частично из сточных вод, когда исходная концентрация и парциальная упругость паров в них достаточно высоки, что делает это технически возможным и экономичным.

Из общего количества растворителей из сточных вод можно извлечь в год $1300 \cdot 0,7 = 910$ т бутанола и $900 \cdot 0,7 = 630$ т изопропанола. При этом БПК_{полн} сточных вод уменьшится на $910 \cdot 1,51 + 630 \cdot 1,68 = 2432,5$ т/год, или на 6,664 т/сут, где 1,51 и 1,68 — удельные значения БПК_{полн} соответственно бутанола и изопропанола. При принятом извлечении растворителей из стоков БПК_{полн} сточных вод составит

$$[(5000 \cdot 2,5) - 6664] 5000 = 1,167 \text{ кг/м}^3, \text{ или } 1167 \text{ мг/л.}$$

Рассмотрим два варианта. Первый вариант — существующее предприятие, на котором растворители не извлекаются. Сточные воды с БПК_{полн} = 2500 мг/л подвергаются полной биологической очистке.

Второй вариант — растворители извлекаются из сточных вод в указанном выше количестве, для чего на предприятии сооружена установка по их регенерации. Сточные воды после извлечения растворителей с БПК_{полн} = 1167 мг/л подвергаются полной биологической очистке.

Общие исходные данные для технико-экономического сравнения принятых вариантов:

БПК _{полн} очищенных сточных вод	15 мг/л
Концентрация ила в аэротенке	3 г/л
Зольность ила	30%
Скорость окисления	20 мг БПК/(гбв · ч)
Концентрация избыточного ила	6 г/л
Взвешенные вещества в стоках перед очисткой	250 мг/л
Эффект осветления в первичном отстойнике по взвешенным веществам	50%
Реагенты для обработки осадка при вакуум-фильтрации,	
% массы осадка:	
хлорное железо	4
известь	10

Чтобы сопоставить варианты, для каждого из них проведен необходимый расчет, подобраны сооружения, определены затраты на материалы и энергоресурсы, а также зарплата обслуживающего персонала.

Во втором варианте для определения необходимых затрат по установке регенерации растворителей расчетным путем подобраны регенерационные колонны, теплообменное и прочее оборудование, определены энергозатраты (электроэнергия, пар, вода), составлено штатное расписание. Установка регенерации растворителей принята в отдельно стоящем здании общей площадью 288 м². Габариты здания в плане 24х12 м. Помещение, где установлены регенерационные колонны, имеет высоту 14 м, общий объем здания 2880 м³.

Затраты на регенерацию растворителей, тыс.руб.:

Капитальные затраты	239,0
В том числе:	
на оборудование	117,0
эксплуатационные затраты	79,63
В том числе:	
амортизационные отчисления	24,9
энергозатраты	27,15
зарплата с начислениями на соцстрах	22,12
текущий ремонт	2,39
прочие расходы	3,1

В том случае, если бутанол и изопропанол не регенерируются из сточных вод, а поставляются со стороны, затраты на их закупку составляют $(910 \cdot 650 + 630 \cdot 270) / 1000 = 761,6$ тыс.руб., где 650 и 270 руб. — преysкурантные цены соответственно бутанола и изопропанола, а 910 и 630 т — их годовое количество. Усредненная преysкурантная цена растворителей составляет $761,6 \cdot 1000 / (910 + 630) = 495$ руб/т.

Технико-экономические показатели по установке регенерации растворителей следующие:

Количество регенерируемых растворителей, т/год	1540,0
Капитальные затраты, руб/т	155,2
Себестоимость регенерации растворителей, руб/т	51,7
Приведенные затраты, тыс.руб.	115,5
Приведенная стоимость регенерации, руб/т	75,0
Стоимость регенерированных растворителей по преysкуранту, тыс.руб.	761,6
Усредненная цена растворителей исходя из их регенерированного количества и преysкурантной цены, руб/т	495

Из приведенных показателей следует, что экономическая эффективность от регенерации растворителей $\mathcal{E} = 1540 (495 - 51,7) = 683$ тыс.руб., где 1540 т — годовое количество регенерированных растворителей; 495 руб. — усредненная цена за 1 т растворителей по преysкуранту; 51,7 руб. — себестоимость регенерации 1 т растворителя.

Однако экономический эффект не исчерпывается только получением вторичных материальных ресурсов при затратах, которые значительно ниже преysкурантной стоимости этих ресурсов. Следствием извлечения из сточных вод растворителей и снижения их загрязненности является снижение затрат на их очистку.

Затраты на обработку сточных вод для двух вариантов — без изъятия из них части растворителей и с их изъятием и последующей регенерацией — даны в табл.11.3, а технико-экономические показатели по вариантам обработки — в табл.11.4.

Общая экономическая эффективность от снижения загрязненности сточных вод за счет изъятия из них части растворителей и их последующей полной биологической очистки, регенерации и использования этих растворителей на предприятии

$$\mathcal{E} = (П_1 + П_3) - (П_2 + П_4) = (860 + 762) - (604 + 115) = 903 \text{ тыс. руб.}$$

Рассмотренный конкретный пример показывает, что на предприятии по производству химико-фармацевтических препаратов организация системы

Таблица 11.3

Показатели	Затраты по вариантам, тыс.руб.	
	первый вариант	второй вариант
Капитальные затраты	3723	2392
В том числе:		
на очистку сточных вод	3723	2153
на регенерацию растворителей	—	239
Эксплуатационные расходы	302	325
В том числе:		
на очистку сточных вод	302	245
на регенерацию растворителей	—	80
Приведенные затраты	860	719
В том числе:		
на очистку сточных вод	860	604
на регенерацию растворителей	—	115

Таблица 11.4

Показатели	Первый вариант	Второй вариант
Количество обрабатываемых сточных вод, тыс.м ³ /год	1825	1825
Удельные капитальные вложения на обработку сточных вод, руб/м ³	2,04	1,31
В том числе только на очистку, руб/м ³	2,04	1,18
Себестоимость обработки сточных вод, руб/м ³	0,165	0,178
В том числе только на очистку, руб/м ³	0,165	0,134
Приведенная стоимость обработки сточных вод, руб/м ³	0,47	0,4
В том числе только на очистку, руб/м ³	0,47	0,33

очистки сточных вод в сочетании с регенерацией растворителей позволяет решить вопросы охраны окружающей среды и одновременно сделать эту систему рентабельной для данного предприятия за счет использования вторичных продуктов.

Изложенное позволяет также сделать вывод, что при строительстве комплекса природоохранных объектов в первую очередь целесообразно возводить объекты, позволяющие снижать загрязненность сточных вод. Такими объектами могут быть не только установки по получению вторичного продукта, но и по уничтожению не утилизируемых и трудноокисляемых химических веществ или неразделяемых смесей.

Необходимо иметь в виду, что изъятие из сточных вод, в частности, растворителей в объеме более 70% их общего содержания может значительно изменить соотношение технико-экономических показателей и сделать в целом эту систему неэкономичной.

Оптимальное соотношение между системой очистки сточных вод и системами по изъятию, утилизации или уничтожению загрязнений в каждом конкретном случае может быть установлено только технико-экономическим расчетом.

11.2. СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ЧАСТИЧНЫМ УНИЧТОЖЕНИЕМ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

В ряде случаев, когда не представляется возможным организовать изъятие загрязняющих веществ из сточных вод с целью их утилизации, на некоторых предприятиях сооружают установки термической обработки наиболее загрязненной части сточных вод, что обеспечивает общее снижение их загрязненности до требуемого предела для последующей передачи сточных вод на сооружения биологической очистки предприятия или города.

При устройстве на предприятии собственных очистных сооружений и установки термической обработки большое значение имеет распределение нагрузок между этими сооружениями. Очевидно, чем больше загрязнений направляется на установку термической обработки, тем более благоприятно работают очистные сооружения: меньше объем аэротенков, расход воздуха на аэрацию, объем образующегося осадка и пр.

Однако в связи с тем, что термические установки работают на дефицитном и дорогостоящем топливе (газ, мазут), себестоимость термической обработки высококонцентрированных сточных вод достаточно высока, и это ограничивает их мощность. Поэтому рациональное распределение загрязненных сточных вод между очистными сооружениями и установкой термической обработки имеет значение для оптимизации системы в целом.

Исходя из анализа разработанных или действующих на предприятиях систем очистки сточных вод с термической обработкой части наиболее загрязненных стоков выполнены технико-экономические расчеты по различным вариантам с мощностью термической установки 25, 50, 100, 200 м³/сут по сжигаемым концентрированным стокам при производительности всей системы в целом 5000 м³/сут сточных вод.

Одновременно в качестве первого варианта приведены расчетные показатели по системе очистки сточных вод без установки термической обработки.

Общие исходные данные для технико-экономического расчета:

Общее количество загрязненных сточных вод по системе в целом	5000 м ³ /сут
Исходная БПК _{полн} загрязненных сточных вод по системе в целом	2500 мг/л
БПК _{полн} концентрированных стоков, поступающих на термическую обработку	33,7 г/л
Себестоимость очистки сточных вод	0,35 руб/м ³
Себестоимость термической обработки стоков	15 руб/м ³

Себестоимость очистки и термической обработки сточных вод принята на основе опыта эксплуатации аналогичных систем в отрасли. Себестоимость термической обработки практически не зависит от производительности установки, так как определяется в основном стоимостью топлива, расход которого прямо пропорционален расходу сжигаемых сточных вод. Себе-

стоимость очистки сточных вод также принята постоянной независимо от степени их загрязнения, так как при принятой себестоимости сжигания (15 руб/м³) она практически не будет влиять на технико-экономические показатели системы в целом.

Технико-экономические показатели по вариантам очистки сточных вод даны в табл.11.5. Из полученных показателей можно сделать следующие выводы.

Таблица 11.5

Показатели	Варианты систем очистки				
	1	2	3	4	5
тыс.м ³ /год	1 825	1 825	1 825	1 825	1825
Общее количество сточных вод, м ³ /сут	5 000	5 000	5 000	5 000	5000
В том числе:					
поступает на очистные сооружения, м ³ /сут	5 000	4 975	4 950	4 900	4800
поступает на установку термической обработки, м ³ /сут	—	25	50	100	200
БПК _{полн} сточных вод, поступающих на очистные сооружения, кг/сут	12 500	11 657	10 815	9 130	5760
мг/л	2 500	2 343	2 185	1 863	1200
БПК _{полн} сточных вод, поступающих на установку термической обработки, кг/сут	—	843	1 685	3 370	6740
мг/л	3 720	33 700	33 700	33 700	3370
Капитальные затраты на строительство очистных сооружений, тыс.руб.	—	3 180	2 450	1 800	1200
Капитальные затраты на строительство установок термической обработки, тыс.руб.	—	450	850	1 100	1300
Удельная себестоимость очистки сточных вод, руб/м ³	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Удельная себестоимость термической обработки, руб/м ³	—	15,0	15,0	15,0	15,0
Приведенные затраты по системе в целом, тыс.руб.	1167	1317	1401	1608	2083
Приведенная стоимость очистки и термической обработки по системе в целом, руб/м ³	0,64	0,72	0,77	0,88	1,14

1. При увеличении производительности установки термической обработки приведенная стоимость очистки по системе в целом возрастает, несмотря на снижение общих капиталовложений. При капитальных затратах 3520 тыс.руб. по 1-му варианту приведенная стоимость составляет 0,64 руб/м³; при капитальных затратах (1 200 + 1 300) = 2 500 тыс.руб. (по 5-му варианту) приведенная стоимость равна 1,14 руб/м³.

2. Увеличение приведенных затрат с ростом мощности термической установки может быть целиком отнесено за счет высокой себестоимости термической обработки сточных вод.

3. Для сточных вод, загрязненных биологически окисляемыми химическими веществами, устройство установки термической обработки может быть экономически оправдано в том случае, если отношение концентраций загрязнений в стоках, поступающих на сжигание, к стокам, поступающим на очистку, больше отношения себестоимостей их очистки, т.е.

$$K_1/K_2 > C_1/C_2,$$

где K_1 и K_2 — концентрации сточных вод, поступающих соответственно на сжигание и очистку; C_1 и C_2 — себестоимость соответственно термической обработки и очистки стоков.

4. Сооружение установки термической обработки сточных вод может быть оправдано в том случае, если в сточных водах содержатся биологически не окисляемые химические вещества и если отсутствуют другие технико-экономические более приемлемые методы их обработки.

11.3. УМЕНЬШЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД

Одной из задач совершенствования технологического процесса производства химико-фармацевтических препаратов является уменьшение количества сточных вод на единицу готовой продукции. На ряде предприятий отрасли запланировано сокращение водопотребления и соответственно водоотведения на 15% общего объема воды.

Для "усредненного" предприятия отрасли, образующего около 5000 м³/сут загрязненных производственных сточных вод, экономия средств при сокращении объема сточных вод на 15%

$$З = 5\,000 \cdot 0,15 \cdot 330 \cdot 0,9 = 222,7 \text{ тыс.руб./год},$$

где 5 000 м³/сут — количество сточных вод; 0,15 — планируемое снижение количества сточных вод в долях единицы; 330 — число рабочих дней в году; 0,9 руб/м³ — расчетная приведенная стоимость очистки сточных вод.

Таким образом, за счет уменьшения количества сточных вод на 15% можно сэкономить около 222,7 тыс.руб. в год.

11.4. ОБРАБОТКА ОСАДКОВ

В гл. 9 показано, что объем и качество образующихся на очистных сооружениях осадков обусловлены набором сооружений и схемой очистки. Получить из осадка стабильный, обезвреженный и достаточно сухой продукт невозможно каким-либо одним видом обработки. Как правило, требуются различные комбинации сооружений и аппаратов. Рассмотрение альтернативных вариантов схем обработки осадка позволило выбрать для сравнения восемь схем: четыре — для станций с вертикальными отстойниками и биологической очисткой и четыре — для станций с двухъярусными отстойниками и биологической очисткой.

Технико-экономическое сравнение вариантов, позволяющее наметить и выбрать оптимальное решение, основано на понятии „приведенные затраты“, учитывающем как строительные, так и эксплуатационные затраты. Минимум приведенных затрат соответствует оптимальному варианту.

Истинное сравнение вариантов должно базироваться на обеспечении всеми вариантами обработки осадка от одинакового исходного качества до одинакового же качества обработанного продукта. Однако условие одинакового исходного качества осадка не может быть выдержано для всех видов очистных станций. Например, осадки из вертикальных отстойников резко отличаются от осадков из двухъярусных отстойников, а активный ил представляет собой третий возможный вид осадка.

Что касается качества конечного продукта, то условие его тождест-

венности вообще не может быть соблюдено. Это очевидно, поскольку осадки, обезвоженные на иловых площадках или с помощью вакуум-фильтров и центрифуг, а тем более подвергшиеся химической (реагентной) или биологической (компостирование) обработке имеют различные химический состав и влажность, а также различную ценность с точки зрения дальнейшего использования этих осадков.

Абсолютно строгое решение вопроса требует, как уже сказано, соблюдения условия получения одинакового конечного продукта, что можно было бы обеспечить, например, конечным сжиганием осадков, полученных в результате любого вида обработки. Совершенно очевидно, однако, что именно такое решение невыполнимо (к тому же, по-видимому, и нецелесообразно) для малых очистных станций, поэтому при нашем рассмотрении мы вынуждены мириться с тем, что сравнительная оценка будет дана вариантам, обеспечивающим конечные осадки разного качества. Но во всех вариантах достаточно строго предусмотрено получение продукта стабильного (т.е. не подвергающегося дальнейшему распаду), обезвреженного (с позиций санитарно-гигиенической оценки) и достаточно сухого (для удобства транспортировки и последующего использования).

Для ориентировочной оценки затрат на тот или иной метод обработки была подсчитана стоимость основных сооружений, оборудования, реагентов, электроэнергии. Расчет стоимостных показателей для всех схем проводили одинаково. При этом исходили из следующих предпосылок.

1. При расчете стоимости сооружений и оборудования принимали во внимание только основные сооружения и оборудование, связанные с обработкой осадка.

2. Иловые площадки (рассчитанные на весь объем осадков, аварийные и после известкования) во всех вариантах приняты на естественном основании без дренажа.

3. В стоимость иловых площадок и площадок для компостирования вошла только строительная стоимость и не учитывалась стоимость отчуждения земельных участков.

4. При расчете иловых площадок для подсушки осадка после известкования учитывали следующие факторы:

объем подаваемого осадка увеличивается за счет добавки известкового молока;

количество сухого вещества в осадке увеличивается за счет нерастворимой части извести;

нагрузка на иловые площадки для осадка после известкования может быть повышена ориентировочно в 1,5 раза, так как известно, что известкование изменяет соотношение свободной и связанной воды в осадке, уменьшая количество последней, т.е. увеличивая способность осадка отдавать воду.

Перейдем теперь к сравнительной оценке возможных схем обработки осадков для очистных сооружений предприятий по производству химико-фармацевтических препаратов с различным набором сооружений. Схемы и расчетные данные по ним приняты в соответствии с гл. 9.

Схема 1 (рис. 11.1). Осадок из первичного вертикального отстойника и избыточный ил из вторичного отстойника после илоуплотнителя поступают на компостирование сырых осадков. Для начальной стадии необходим значительный объем легкого сыпучего материала. В результате процесса получается продукт с влажностью 40%, совершенно обезвреженный.

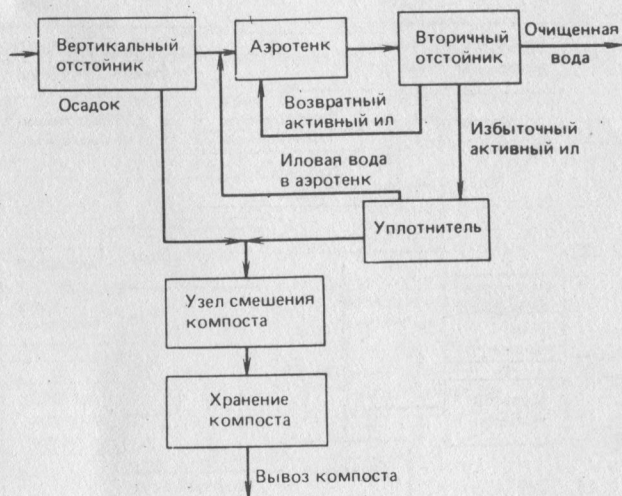


Рис. 11.1. Компостирование смеси сырых осадков

Схема 2 (рис. 11.2). Предусмотрено компостирование смеси осадка и избыточного ила, сброженных в двухъярусном отстойнике.

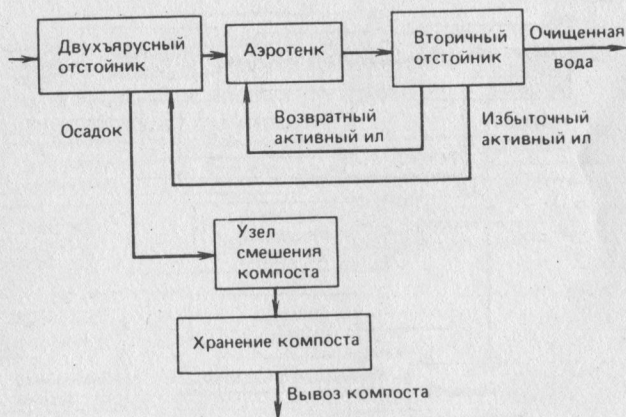


Рис. 11.2. Компостирование сброженной смеси осадков

Схема 3 (рис. 11.3). Схема предполагает известкование смеси сырых осадков. Для обезвоживания предусмотрены иловые площадки, нагрузка на которые принята в 1,5 раза больше, чем нормативная.

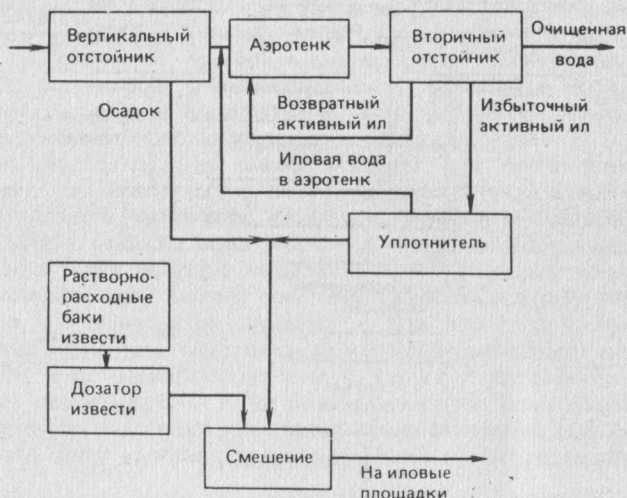


Рис. 11.3. Известкование смеси сырых осадков

Схема 4 (рис. 11.4). Предусмотрены известкование смеси осадка и избыточного ила, сброженных в двухъярусном отстойнике, и последующее обезвоживание на иловых площадках.

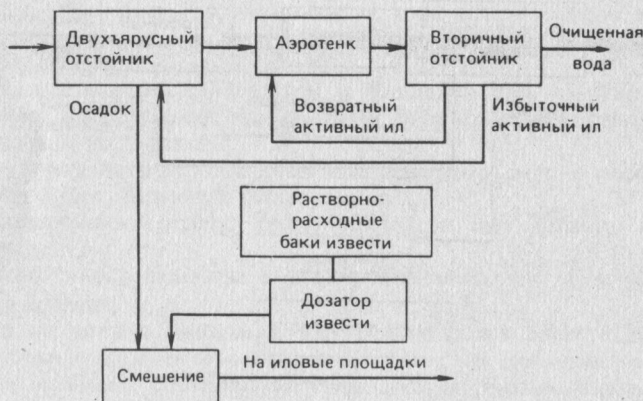


Рис. 11.4. Известкование сброженной смеси осадков

Схема 5 (рис. 11.5). По этой схеме производят механическое обезвоживание смеси сырых осадков с подачей ее после дегельминтизации на площадки складирования. В схеме предусмотрены аварийные иловые площадки и подача фильтрата в первичный отстойник. Соответственно учитывается изменение за счет фильтрата расхода очищаемых сточных вод, количества взвешенных веществ и БПК в исходном стоке, что обуславливает увеличение объема сооружений и капитальных затрат на их строительство по расчету на 10%.

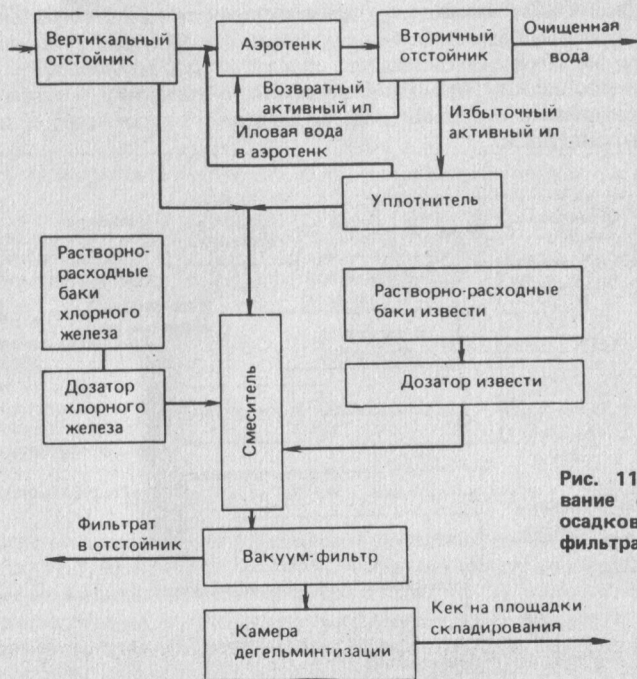


Рис. 11.5. Обезвоживание смеси сырых осадков на вакуум-фильтрах

Схема 6 (рис. 11.6). Предусмотрены обезвоживание смеси осадка и активного ила, сброженной в двухъярусном отстойнике, на вакуум-фильтрах с устройством аварийных иловых площадок и увеличение объема сооружений очистки на 10% за счет фильтрата.

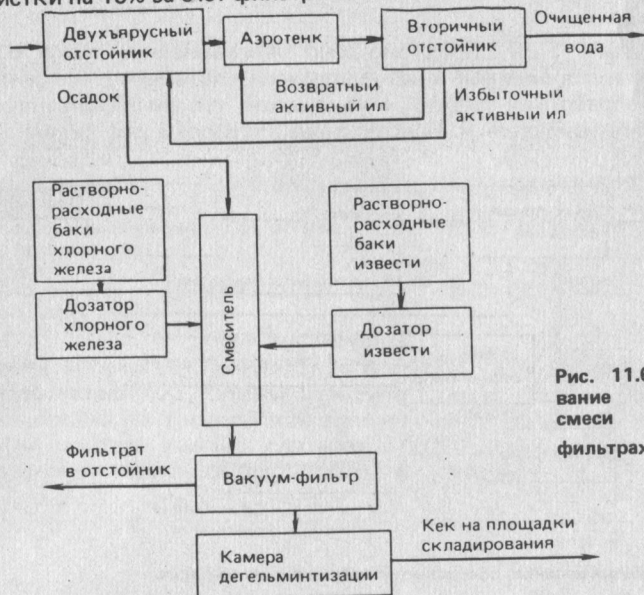


Рис. 11.6. Обезвоживание сброженной смеси на вакуум-фильтрах

Схема 7 (рис. 11.7). Осадок из первичного отстойника и избыточный активный ил после уплотнения направляются на центрифугирование. В схеме принята аэробная стабилизация фугата с последующей передачей его на иловые площадки. Площадки устроены с дренажем, поэтому стоимость их по сравнению с аварийными (3 руб/м²) возросла до 7 руб/м². Кек дегельминтизируется.

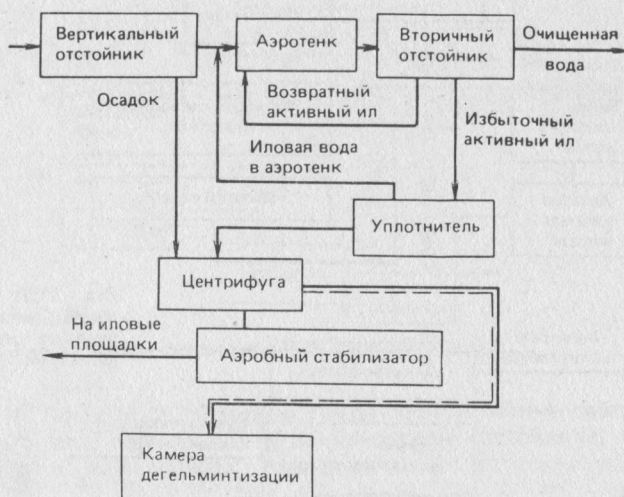


Рис. 11.7. Обезвоживание смеси сырых осадков на центрифугах

Схема 8 (рис. 11.8). Предусмотрено обезвоживание смеси осадка и активного ила, сброженной в двухъярусном отстойнике, на центрифуге с аэробной обработкой фугата и подсушкой его на иловых площадках. Кек дегельминтизируется и вывозится на площадку для складирования.



Рис. 11.8. Обезвоживание сброженной смеси на центрифугах

Для сопоставления приведенных схем на основе данных, полученных в гл. 9, по каждой схеме подобраны необходимые сооружения и определены затраты на строительство, реагенты и энергоресурсы, а также зарплата обслуживающего персонала (табл. 11.6).

Таблица 11.6

Статьи расходов	Затраты по схемам обработки осадка, тыс.руб.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Капитальные затраты	358,1	379,6	457,5	466,0	471,7	452,3	822,7	445,4
Эксплуатационные расходы	254,6	248,0	216,1	214,0	207,0	200,3	204,0	187,4
В том числе:								
амортизационные отчисления	21,0	22,0	30,0	30,0	30,0	30,0	46,0	30,0
реагенты	—	—	29,4	27,3	22,2	15,5	—	—
энергоресурсы	116,7	109,1	35,0	35,0	36,3	36,3	44,2	43,6
зарботная плата с отчислениями на соцстрах	116,9	116,9	121,7	121,7	118,5	118,5	113,8	113,8
Приведенные затраты	308,3	304,9	284,7	294,4	277,7	268,1	327,4	254,2

Технико-экономические показатели различных схем обработки осадка даны в табл. 11.7, из которой можно сделать следующие выводы:

наименее капиталоемкой является схема 1, по которой осадок из первичного отстойника и уплотненный избыточный ил компостируются;

наиболее низкая себестоимость обработки осадка получена по схеме 8, по которой избыточный ил и осадок сбрасываются совместно в двухъярусном отстойнике, после чего сброшенная смесь поступает на центрифугу, а фугат на аэробную стабилизацию и иловые площадки;

наименьшая приведенная стоимость обработки осадка также получена по схеме 8.

Таблица 11.7

Показатели	Схемы обработки осадка							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Осадок по сухому веществу, т/год	1310	1310	1310	1310	1310	1310	1310	1310
Удельные капитальные вложения, руб/т	273,36	289,8	349,23	355,72	360,8	345,27	628,01	340,0
Себестоимость обработки осадка по сухому веществу, руб/т	194,35	189,31	164,96	163,36	158,01	152,9	155,72	143,0
Приведенная стоимость обработки осадка, руб/т	235,3	232,7	217,3	224,7	211,9	204,6	249,9	194,0

На основе полученных результатов в общем виде для предприятий химико-фармацевтической промышленности может быть рекомендована обработка осадка по схеме 8 как оптимальная. Однако в каждом случае выбор схем очистки сточных вод и обработки осадка должен быть обоснован расчетами в зависимости от конкретных условий.

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. СТОЧНЫЕ ВОДЫ	5
1.1. Образование сточных вод в технологических процессах производст- ва химико-фармацевтических препаратов, витаминов и антибиотиков	5
1.2. Расходы и характеристика сточных вод некоторых производств	6
2. КАНАЛИЗАЦИЯ	18
2.1. Классификация сточных вод	18
2.2. Внутрицеховые и наружные системы канализации	19
2.3. Условия спуска сточных вод	21
3. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД (<i>перевод с чешского А.Н. Ушакова</i>)	27
3.1. Способность к биохимическому распаду некоторых веществ, присут- ствующих в сточных водах предприятий химико-фармацевтической промыш- ленности	27
3.2. Токсическое действие веществ, присутствующих в сточных водах хи- мико-фармацевтических предприятий	30
3.3. Предварительная очистка сточных вод	31
3.4. Биологическая очистка сточных вод химико-фармацевтических пред- приятий	33
3.5. Собственные экспериментальные работы по очистке сточных вод за- вода по производству антибиотиков и лизина на станции очистки сточных вод (пусковой период)	40
3.6. Заключение	62
Список литературы	63
4. ТЕОРИЯ АЭРОБНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРО- РОТЕНКАХ (<i>перевод с чешского А.Н. Ушакова</i>)	65
4.1. Определение органических веществ в сточных водах	65
4.2. Аэробная биологическая очистка сточных вод с использованием актив- ного ила	77
Список литературы	115
5. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗ- ВОДСТВУ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ	117
5.1. Предприятие № 1	117
5.2. Предприятие № 2	122
5.3. Предприятие № 3	130
5.4. Предприятие № 4	137
Список литературы	146
6. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗ- ВОДСТВУ ВИТАМИНОВ	146
6.1. Предприятие № 1	146
6.2. Предприятие № 2	152
6.3. Предприятие № 3	163
Список литературы	181
7. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗ- ВОДСТВУ АНТИБИОТИКОВ	182
7.1. Предприятие № 1	182
7.2. Предприятие № 2	185
8. ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД	188
8.1. Общие положения	188
8.2. Повторное использование очищенных сточных вод химико-фармацев- тического предприятия	190
8.3. Санитарно-гигиенические аспекты использования сточных вод в тех- ническом водоснабжении	200
Список литературы	201

9. ОБРАБОТКА ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД	202
9.1. Характеристика осадков	202
9.2. Количество осадков	206
9.3. Методы обработки осадков и их оценка	209
10. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ	220
10.1. Пуск, наладка и эксплуатация	221
10.2. Контроль процессов очистки сточных вод	221
10.3. Техника безопасности при очистке сточных вод	234
11. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ И СХЕМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ И ЛИКВИДАЦИИ НЕУТИ- ЛИЗИРУЕМЫХ ОТХОДОВ	235
11.1. Система очистки сточных вод с частичной утилизацией загрязнений	237
11.2. Система очистки сточных вод с частичным уничтожением загрязне- ний	241
11.3. Уменьшение количества сточных вод	243
11.4. Обработка осадков	243

Сергей Васильевич Яковлев
Тамара Александровна Карюхина
Семен Абрамович Рыбаков
Ян Худоба
Душан Решетка

**ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИКО-
ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Редакция переводных изданий
Зав. редакцией *Р.Л.Рощина*
Редактор *Т.В.Рютина*
Младший редактор *Е.Г.Ежова*
Технический редактор *Н.А.Белькович*
Корректор *Н.С.Сафронова*
Оператор *Т.И.Сандрацкая*
ИБ № 2983

Подписано в печать 25.05.84 Формат 60х90 1/16 д.л. Бумага офсетная. Набор машино-
писный. Печать тип. №1 Печ.л. 15.75. Усл. кр.-отт. 16,00. Уч.изд.л. 20,76. Тираж
2800 экз. Изд. № АУ1-86 Заказ 468 Цена 1 р. 40 к.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Тульская типография "Союзполиграфпрома" при Государственном комитете СССР по
делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
г. Тула, пр. Ленина, 109